

На правах рукописи

ПОБЕДИНСКИЙ Владимир Викторович

**РОТОРНЫЕ ОКORОЧНЫЕ СТАНКИ
С АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫМ
ПНЕВМОГИДРОПРИВОДОМ**

05.21.01 - Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Екатеринбург - 2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Научный консультант – доктор технических наук, доцент
Герц Эдуард Федорович

- Официальные
оппоненты:
- доктор технических наук, профессор кафедры
транспортных и технологических машин
и оборудования ФГБОУ ВПО «Петрозаводский
государственный университет»
Васильев Сергей Борисович
 - доктор технических наук, доцент, декан
ФГБОУ ВПО «Братский государственный
университет», профессор РАЕ
Гаспарян Гарик Давидович
 - доктор технических наук, профессор кафедры
лесоводства и ландшафтного дизайна ФГБОУ ВПО
«Башкирский государственный аграрный университет»
Почетный работник высшей школы
Газизов Асгат Мазхатович
- Ведущая
организация
- ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический
университет им. С.М. Кирова»

Защита диссертации состоится 24 сентября 2015 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, к. 1-401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
<http://www.usfeu.ru/nauka/disserattsiionnye-sovety.html>.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Куцубина Нелли Валерьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Рациональное природопользование, предусматривающее эффективное использование лесных богатств, сохранение и возобновление лесосырьевых ресурсов, является одной из важнейших задач, включенных в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ. Поддержка направления на государственном уровне отмечается в ежегодных посланиях Президента РФ Федеральному собранию, а в конкретизированном виде мероприятия утверждены правительством России в «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года».

В лесном комплексе специфическое место занимает окорка. Все технологии в лесопромышленных странах предусматривают обязательную окорку лесоматериалов, без которой комплексная и эффективная переработка древесного сырья невозможна. Это со всей очевидностью было доказано за последние годы частыми остановками многих импортных технологических линий при эксплуатации в российской отрасли, а также заметным снижением эффективности производства вследствие пренебрежения такой операцией.

Для очистки древесины от коры в отечественном производстве и мировой практике применяются роторные окорочные станки (РОС). В нашей стране серийно выпускались станки унифицированной гаммы, однако, начиная с 90-х годов, выпуск окорочных станков в России практически прекратился. Соответственно прекратились и НИР, направленные на совершенствование РОС, и дальнейшее их развитие можно проследить только по зарубежным моделям.

За последнее десятилетие в окорочном оборудовании зарубежного выпуска достигнут значительный прогресс главным образом за счет использования пневмо-, гидропривода и систем автоматического регулирования. Нельзя не отметить, что в нашей стране ранее предусматривались государственные программы технического перевооружения отрасли, в которых планировались и работы по созданию новой более совершенной гаммы РОС с использованием гидропривода. Планы отрасли не были выполнены, поэтому до настоящего времени в России нет серийного выпуска РОС современного технического уровня, а также станков, оснащенных пневмо-, гидроприводом и системами автоматического регулирования. Таким образом, повышение эффективности технологий лесной промышленности во многом сдерживается техническим уровнем окорочного оборудования, что обуславливает формирование научной проблемы. Для дальнейшего совершенствования РОС становится актуальной разработка новых теоретических положений, позволяющих проектировать станки с автоматическим управлением и новыми типами приводов. Однако такие сложные задачи остаются далеки от решения, а существующие конструкции РОС с отдельными элементами автоматического регулирования лишь демонстрируют уровень сложности этих проблем. Имеющиеся теоретические разработки в смежных областях техники предлагают использование некоторых элементов автоматического регулирования рабочими органами, но не позволяют комплексно автоматизировать окорочные станки.

Следует отметить, что немаловажной причиной возникновения проблемной ситуации в проектировании станков является и отсутствие научно обоснованной

методологии моделирования размерно-качественных характеристик лесоматериалов, способной формировать визуальные объекты обрабатываемых сортиментов, и получение достоверных исходных данных по нагрузкам в процессе окорки. В целом проблема научного обоснования воздействий и нагрузок в конструкции РОС в зависимости от параметров предмета труда, технологических параметров, конструкций рабочих органов, условий работы становится весьма важной в случае совершенствования станков на базе новых типов приводов с системами автоматического регулирования. Однако, как показывает анализ, такой фактор, как неопределенность, остается практически вне поля зрения исследователей. В то же время наличие неопределенности, недостаточности или отсутствие информации при описании размерно-качественных характеристик создает комплекс проблем, затрудняющих не только их решение, но и в первую очередь корректную постановку задачи моделирования лесоматериалов с визуализацией образов, что и сформировало еще одну проблематику работы.

Анализ публикаций по этой проблеме говорит о том, что условия неопределенности в описании параметров лесоматериалов не изучены и очевидно, что подобные научные исследования не получили системной направленности, особенно с точки зрения геометрического моделирования лесоматериалов с возможностью оценки воздействий от них на механизмы РОС. Современные тенденции таковы, что приходит осознание большой сложности задач адекватного математического описания объектов с факторами неопределенности, в связи с чем в научных исследованиях отказываются от прямого статистического моделирования и переходят к изучению структур, подобных размерно-качественным характеристикам лесоматериалов, применяя аппарат искусственного интеллекта.

Как известно, размерные и качественные параметры варьируются в широких пределах не только в зависимости от породного состава, среднего объема, природно-климатических и других факторов, но и вследствие постоянного изменения таксационных характеристик разрабатываемых лесосек. В результате такие данные, вообще говоря, являются расплывчатыми и неполными. Одним из подходов, позволяющих поддерживать такого рода исследования, является использование нечеткой математики. Сегодня в этом направлении получены существенные результаты в фундаментальных исследованиях, но что касается прикладных исследований, то здесь требуются дополнительные НИР. Отсюда в исследованиях лесозаготовительной и деревообрабатывающей областей применение нечеткой математики встречается как единичные случаи и для освещения частных вопросов (д-ра техн. наук Климушев Н.К., Шадрин А.А., Герц Э.Ф.). Но даже такой ограниченный опыт проникновения аппарата нечетких множеств в лесные технологии показывает, что он позволяет решать компьютерными средствами не только широкий круг задач интеллектуальной поддержки систем синтеза и идентификации, связанных с неопределенностью, автоматическим управлением, но и создает условия для разработки новых способов решения научных и технических проблем.

Ряд положений настоящей работы базируется на нечеткой математике, основоположником которой является Л. Заде. В фундаментальные вопросы теории нечетких множеств и нечеткой логики при решении круга математических и прикладных проблем значительный вклад внесли российские и зарубежные ученые

А.Н. Аверкин, Л.С. Бернштейн, А.Н. Борисов, В.В. Борисов, И. Мочкорж, Н.Г. Малышев, А.Н. Мелехов, Д.А. Поспелов, Т.Л. Саати, М.В. Семухин, В.Б. Силлов, В.В. Круглов, А.В. Кузьмин, Ю.Н. Минаев, Н.Г. Ярушкина и др.

Вопросы реализации алгоритмов нечеткого вывода рассматриваются в работах Х. Ларсена (H. Larsen), Е. Мамдани (E. Mamdani), М. Сугено (M. Sugeno), Т. Такаги (T. Takagi), Й. Цукамото (Y. Tsukamoto). Прикладное направление: А. В. Леоненков, К. Хартманн, С.Д. Штовба. В области химии и химической технологии были развиты В.В. Кафаровым, И.Н. Дороховым, И.З. Батыршиным, Р.Х. Бахитовой, С.И. Дворецким, А.А. Макаровым, А.А. Самарским, П. Джурсом, И.В. Гермашевым.

Задачам лесной отрасли по специфике предмета труда, технологиям, условиям производства в наибольшей степени соответствует идеология нечетких множеств. Применительно к процессам окорки задачи автоматического управления, расчета технологических, конструктивных параметров, определения воздействий и нагрузок на станок будут решаться более корректно и рационально с использованием нечетких алгоритмов. Поскольку до настоящего времени ни один из этих вопросов не решался в совокупности со всеми остальными, можно считать, что решение проблемы повышения эффективности роторных окорочных станков на базе создания теоретических основ исследований и проектирования РОС с автоматическим управлением рабочих органов, учитывающих специфику предмета труда, многообразия условий и факторов неопределенности процесса окорки весьма актуально. Принимая во внимание уровень изученности рассматриваемых проблем в целом, полагаем, что развитие исследований конструкций РОС с позиций как автоматического управления, так и создания методов проектирования на основе научно обоснованных данных о нагрузках является самостоятельным направлением, имеющим важное теоретическое и практическое значение.

Постановка и концепция научной проблемы. Рабочая гипотеза. В основу работы положена гипотеза о том, что современная наука предлагает широкий спектр методов, а производство – номенклатуру технических средств для повышения эффективности РОС за счет комплексного автоматического управления станками, обеспечивающего экономические преимущества по сравнению с существующей унифицированной гаммой и уровень технического совершенства станков выше такового у зарубежных аналогов. При этом решение существующей проблемы повышения надежности, производительности, качества окорки, снижения энергоемкости станков базируется на новых методах исследования на основе современных концепций визуально-блочного имитационного моделирования и проектирования рабочих органов станков, оснащенных пневмогидроприводом с автоматическим управлением на нечеткой логике, новых методах экспериментальных исследований станков и определения расчетных нагрузок с учетом факторов неопределенности в процессе окорки лесоматериалов.

Целью работы являлось повышение эффективности технологий окорки.

Задачи исследований. Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие задачи.

1. Исследование конструкций существующих роторных окорочных стан-

ков, выявление общемировых тенденций в развитии станков, проектировании, применение информационных технологий для совершенствования РОС, выбор перспективного типа и базовой модели для создания новой гаммы с автоматически управляемым пневмогидроприводом.

2. Разработка конструктивных решений рабочих органов станка для использования с автоматически управляемым пневмогидроприводом.

3. Теоретические исследования работы механизма подачи с механическим прижимом вальцов в статике, кинематике и динамике.

4. Разработка математических моделей кинематической схемы пневмогидропривода короснимателя и механизма прижима вальцов (МПВ).

5. Синтез в среде Simulink+Simscapе имитационной модели кинематической схемы механизма прижима с синхронизацией раскрытия вальцов.

6. Оптимизация параметров механизма подачи с механическим прижимом вальцов и параметров кинематической схемы МПВ.

7. Синтез в среде Simulink имитационной модели пневмогидропривода механизма режущего инструмента (МРИ) и в среде Simulink+Simscapе имитационной модели гидропривода механизма прижима вальцов.

8. Разработка математических моделей и синтез в виде имитационных моделей в среде Simulink систем автоматического управления пневмогидроприводами МРИ и МПВ.

9. Разработка систем нечеткого автоматического управления пневмогидроприводами механизма режущего инструмента и механизма прижима вальцов.

10. Разработка методов нечеткого моделирования предмета труда окорочных технологий и процессов окорки.

11. Экспериментальные исследования РОС, включающие разрешение следующих проблем:

- определение нагрузок на рабочие органы станка в процессе окорки;
- определение нагрузок на короснимателе путем бесконтактного обмена данными с аппаратурой, расположенной в роторе;
- выполнение численных экспериментов процесса окорки лесоматериалов с автоматически управляемым пневмогидроприводом МРИ;
- выполнение численных экспериментов процесса подачи лесоматериалов с автоматически управляемым МПВ;
- определение воздействий и нагрузок в станке на основе геометрического моделирования процесса окорки.

12. Промышленная апробация результатов исследований и их технико-экономическое обоснование.

Объект исследований. Конструкция роторных окорочных станков унифицированной гаммы.

Предмет исследований. Размерно-качественные характеристики лесоматериалов, их влияние на механизмы станка, закономерности автоматического управления пневмогидроприводом рабочих органов в процессе окорки.

Методология и методы проведенных исследований. В теоретических исследованиях применены методы теории классификации, теоретической механики, динамики, численных методов, оптимального проектирования, теории автомати-

ческого регулирования, имитационного моделирования, нечетких множеств и нечеткой логики, визуального моделирования в среде Simulink системы компьютерной математики MatLab, программирования. В экспериментальных исследованиях применены методы теории эксперимента, схемотехники, телеметрии, планирования эксперимента, тензометрирования, численных методов, имитационного моделирования, нечеткого и геометрического моделирования.

Новизна исследований и научных результатов

Разработаны методологические основы исследований и проектирования конструкций и автоматически управляемого пневмогидропривода рабочих органов окорочных станков, выразившиеся в реализации соответствующего методического, математического и программного обеспечения.

Впервые получены математические и имитационные модели пневмогидропривода рабочих органов РОС с системой автоматического управления, разработаны модели систем нечеткого управления, имитационные нечеткие и геометрические модели предмета труда окорочных технологий – лесоматериала. Все конструктивные решения, предложенные в результате теоретических и экспериментальных исследований, являются патентоспособными, защищены авторским свидетельством СССР на изобретение и десятью патентами РФ на полезные модели.

Дополнена классификация РОС по различным признакам, уточнены перспективный конструктивный тип и базовая модель для дальнейшего совершенствования станков с использованием автоматически управляемого пневмогидропривода, уточнен терминологический аппарат по теме технологий окорки.

Научные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие научные положения.

1. Конструктивные решения и кинематические схемы рабочих органов окорочных станков для использования с автоматически управляемым пневмогидроприводом.

2. Математические модели механизма подачи с механическим прижимом вальцов, результаты анализа работы механизма в статике, кинематике и динамике.

3. Математическая модель автоматически управляемого пневмогидропривода механизма режущего инструмента.

4. Имитационная модель автоматически управляемого пневмогидропривода механизма режущего инструмента в среде визуально-блочного моделирования Simulink, результаты исследований на адекватность по тестовым воздействиям и на устойчивость управления.

5. Имитационная модель автоматически управляемого пневмогидропривода механизма прижима вальцов в среде визуально-блочного моделирования Simulink+Simscape, результаты исследований на адекватность по тестовым воздействиям, оптимизации параметров ПИД-регуляторов и проверки на устойчивость управления.

6. Формализация задачи оптимального проектирования параметров механизма подачи с механическим прижимом вальцов и задачи оптимального проектирования параметров кинематической схемы МПВ.

7. Модели двухконтурных (с нечетким и ПИД-регулятором) систем автоматического управления пневмогидроприводом рабочих органов, результаты иссле-

дований работы САУ пневмогидроприводом на тестовые воздействия и на устойчивость управления.

8. Формализация математической модели нечеткого вывода для определения динамических нагрузок на коросниматель в процессе окорки и имитационной нечетко-геометрической модели лесоматериала.

9. Методики и аппаратура экспериментального определения нагрузок на обрабатываемом лесоматериале при взаимодействии с рабочими органами и результаты экспериментальных исследований.

10. Методика и аппаратура телеметрии для обмена информацией с аппаратурой, расположенной в роторе станка, результаты экспериментов по определению составляющих силы окорки на короснимателе.

11. Методика численного эксперимента с имитационной моделью лесоматериала для исследования автоматически управляемого пневмогидропривода МРИ в процессе окорки.

12. Методика численного эксперимента с имитационной моделью лесоматериала в вальцовом механизме для исследования автоматически управляемого пневмогидропривода МПВ в процессе подачи.

13. Технология численного эксперимента для оценки воздействий и нагрузок на рабочие органы на основе имитационной нечетко-геометрической модели процесса окорки лесоматериалов в станке.

Значимость для теории и практики

Теоретическая значимость исследований состоит в разработке методологической базы исследований и проектирования станков с автоматическим управлением пневмогидроприводом рабочих органов, моделирования их работы, имитационного моделирования лесоматериалов, выполнения численных экспериментов, а также нечеткого и геометрического моделирования лесоматериалов для определения расчетных значений воздействий и нагрузок на конструкции РОС.

Получены имитационные модели физических процессов взаимодействия автоматически управляемых рабочих органов станка с лесоматериалом в процессе окорки.

Технология численных экспериментальных исследований на основе имитационной нечетко-геометрической модели процесса подачи лесоматериалов в окорочном станке, результаты экспериментов углубляют теорию механической окорки и технологий лесозаготовительного и деревообрабатывающего производства.

Практическая значимость исследований. Предложенные решения и результаты их исследований носят универсальный характер. Они положены в основу алгоритмов программных комплексов для исследований работы и проектирования РОС с автоматически управляемым гидроприводом. Все разработанные алгоритмы реализованы в компьютерных программах с соответствующими свидетельствами о государственной регистрации и могут использоваться на практике.

Разработаны имитационные модели лесоматериала, достаточно адекватно реализующие в среде Simulink объект труда в окорочном станке при взаимодействии с короснимателями и вальцами механизма подачи.

Разработана технология, позволяющая достаточно адекватно реализовать в трехмерной среде Solid Works процесс воздействий и нагрузок на рабочие органы

станка в процессе окорки на основе имитационной нечетко-геометрической модели. Предложенные модели, направленные на интеллектуализацию компьютерных систем, открывают новые перспективы внедрения информационных технологий в лесную отрасль. Разработанные методы моделирования предмета труда обогащают проблемную область и могут использоваться при исследовании и проектировании любых процессов и оборудования лесопромышленных технологий.

Методика и аппаратура телеметрии могут использоваться в системах автоматического управления для обмена информацией с аппаратурой, расположенной в роторе, а также в экспериментальных исследованиях для дистанционной передачи данных.

Предложенные методики и оборудование экспериментальных исследований для измерений нагрузок при окорке на обрабатываемом лесоматериале применимы для всех типоразмеров станков гаммы и позволяют получать наиболее точные данные для проектирования.

Реализация результатов исследований обеспечит повышение эффективности использования РОС за счет увеличения скоростей подачи на всех режимах, следовательно, производительности, качества окорки, надежности, обусловленной снижением динамических нагрузок, энергоемкости. В процессе проектирования позволит значительно сократить время разработки конструкторской документации и повысить качество проектирования. В конечном итоге результаты направлены на создание новой гаммы РОС, что позволит эффективно решить проблему, особенно остро вставшую в настоящее время, – импортозамещения отечественной продукцией, превосходящей по техническому уровню зарубежные аналоги. Расчетный экономический эффект составит не менее 980 тыс. руб. на одну проектируемую модель и в производстве не менее 8,6 млн. руб. на станок в год.

Реализация работы. Результаты исследований в виде пособий по проектированию и компьютерных программ для расчета параметров РОС использовались Петрозаводским станкостроительным заводом при создании головной модели нового поколения станков с гидроприводом ОК63-3, приняты для использования при проектировании лесных машин ОАО «УралНИИПдрев», ООО «УралНИИЛП» (г. Екатеринбург). Результаты работы внедрены в учебный процесс УГЛТУ и использованы при написании методических указаний, компьютерных программ. Положения диссертационной работы используются с 1989 г. в учебном процессе УГЛТУ при выполнении курсовых и дипломных проектов, подготовке магистров и аспирантов.

Результаты исследований послужили методологической основой для трех защищенных диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата технических наук, одна из которых выполнена автором, две под его научным руководством (Берстнев А.В., Василевский Д.А.).

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в соответствии с положениями Перечня приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, утвержденного Президентом РФ 21 мая 2006 г. Пр-843 (п. «Рациональное природопользование»), «Концепциями развития лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса», а также договорных НИР «Создание унифицированной гаммы окорочных станков»

(№ г.р. 01880042894), «Совершенствование конструкции окорочных станков унифицированной гаммы с целью повышения качества окорки, надежности и удобства обслуживания» (№ г.р. 01870038009).

В исследованиях обобщен опыт более 20-летней работы автора в области технологий окорки лесоматериалов.

Достоверность научных положений, рекомендаций и выводов. Обоснованность научных положений, рекомендаций и выводов определяется экспериментальными данными, корректным использованием современных методов исследований, обобщением накопленного опыта работы по автоматизации и моделированию работы гидропривода, непротиворечивости и воспроизводимости результатов, полученных теоретическим путем, а также проведением оценки адекватности разработанных моделей, использованием экспериментальных данных для расчетов и сопоставлений результатов. Полученные алгоритмы реализованы на компьютере и апробированы в виде вычислительных экспериментов.

Апробация работы. Основные научные положения и результаты исследований были представлены в виде докладов и сообщений на конференциях.

Международных: «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса». Екатеринбург, УГЛТА, 1999; «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века». Екатеринбург, УГЛТУ, 2006; «Строительная физика в XXI веке» Научно-исследовательского института строительной физики РААСН. Москва, НИИФС РААСН, 2006.

Всероссийских: «Материалы II Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов». Екатеринбург, УГЛТУ, 2006; «Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов». Екатеринбург, УГЛТУ, 2013.

Областных: «Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса». Свердловск, УЛТИ, 1989; «Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса». Свердловск, УЛТИ, 1991; «Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса». Екатеринбург, УЛТИ, 1993; «Системы управления ракетных комплексов. III науч.-техн. конф. молодых специалистов НПОА». Екатеринбург, Федеральное агентство ФГУП «НПО автоматика им. академика Н.А. Семихатова», 2006.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на научно-технических советах лабораторий окорки и технологической щепы ЦНИИМЭ в 1991 г., на кафедре механизации лесоразработок УЛТИ в 1991 г., на заседании лаборатории Федерального агентства ФГУП «НПО автоматика им. академика Н.А. Семихатова», 2011 г.

В полном объеме работа доложена и одобрена на совместных заседаниях кафедры сервиса и технической эксплуатации транспортных и технологических машин и кафедры автоматизации производственных процессов, ученого совета Института автомобильного транспорта и технологических систем в 2014 г.

Опубликованность результатов. По результатам исследований опубликовано 93 печатные работы, в том числе, 30 в изданиях, рекомендованных ВАК (14 из них включены в Agris), получено авторское свидетельство СССР, 10 патентов РФ, 14 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, общей характеристики, 7 глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников, включающих 316 наименований, приложений. Основное содержание работы изложено на 386 страницах, включая 192 рисунка, 22 таблицы, приложение на 16 страницах, содержащее рисунки, схемы и акты внедрения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены основные положения диссертационной работы, обоснована актуальность исследований, дана краткая аннотация работы.

Глава 1. Практические и научные проблемы в области окорки лесоматериалов

В главе выполнен анализ состояния проблемы, изучены конструкции РОС, известные в мировой практике, выявлены тенденции их совершенствования, наиболее значимой из которых является применение пневмо- и/или гидропривода и систем автоматического управления.

К настоящему времени получили развитие методы окорки, экспериментально апробированные в 60-80-х годах и за последнее десятилетие, – с поперечной подачей («Розерхедовского» типа), гидравлическая окорка, окорка ультразвуком, окорка некондиционной и тонкомерной древесины. Достаточно широко представлены мобильное оборудование для групповой и индивидуальной окорки, механизированный ручной инструмент. В Австралии применяется селективная окорка, под которой в российских исследованиях понимается принципиально другая технология. В открытой печати, технической и учебной литературе перечисленные вопросы не получили должного развития, поэтому в работе были развиты классификационные основы области окорки – уточнена терминология и классификация методов окорки, предложена классификация станков, методов управления рабочими органами.

Анализ конструкций станков показал, что в мировой практике одним из самых перспективных конструктивных решений является станок с двухвальцовым механизмом подачи по типу «VK», поскольку ведущие производители в некоторых моделях отказываются от своих традиционных компоновок и выпускают указанные станки. Кроме того, в сформировавшемся за последние десятилетия направлении создания мобильных малогабаритных окорочных установок основным типом также является с двухвальцовым механизмом подачи. Учитывая, что по такому конструктивному типу к 80-м годам в СССР была создана унифицированная гамма станков, в настоящих исследованиях для дальнейшего развития и создания новой гаммы с автоматизированным управлением принимается конструкция с двухвальцовым механизмом подачи, как наиболее перспективная.

В развитие технологий окорки на роторных станках значительный вклад сделали исследования профессоров, докторов техн. наук С.П. Бойкова, М.Н. Симонова, Г.И. Торговникова, И.Р. Шегельмана, С.Б. Васильева, А.М. Газизова, И.В. Григорьева, Г.Д. Гаспаряна кандидатов техн. наук проф. А.А. Добрачева, проф. А.В. Мехренцева, Н.Ф. Пигильдина, В.А. Кацадзе, Л.Н. Ганжуры, Л.И. Попеко, Л.Д. Фрида, В.Н. Кашуры и других исследователей. Однако вопросы автоматического управления, а также непосредственного применения пневмогидропривода в РОС не

исследовались. Между тем зарубежная практика со всей очевидностью доказала эффективность именно такого направления развития роторных окорочных станков.

Как показал обзор конструкций РОС и близких решений в смежных областях, при использовании автоматически управляемого пневмо- и/или гидропривода возникают такие сложные научно-технические проблемы, как обеспечение функционирования пневмо- или гидросистемы во вращающейся системе ротора, быстродействие работы привода, обмен информацией методами телеметрии, выполнение оптимальной конструктивной компоновки ротора и механизма подачи. Поскольку в настоящей работе окорка впервые рассматривается с методологической точки зрения, то потребовалось развитие ее классификационных основ для представления темы в структурированном виде. Разработаны классификация РОС, применяемых в мировой практике, классификация станков по применению гидро- и/или пневмопривода, по методам управления инструментом, исполнения механизма подачи, изложены предпосылки автоматизированного управления процессом окорки, уточнен терминологический аппарат по теме окорки.

В результате анализа выявлены тенденции развития РОС и определены перспективные направления их совершенствования, в первую очередь это внедрение средств автоматики с новыми типами приводов. На основании изучения состояния проблемы определена цель и сформулированы задачи исследований.

Глава 2. Обоснование конструкций и оптимизация параметров кинематических схем рабочих органов станка

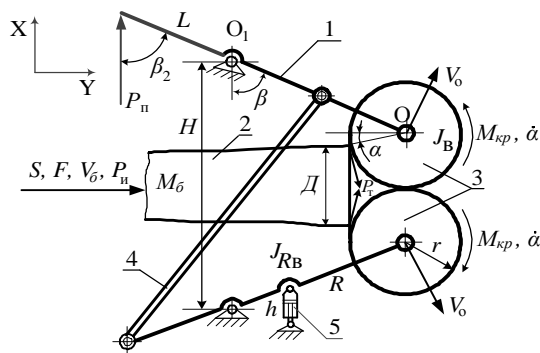
В разделе приведены разработки конструктивных решений кинематических и структурных схем следующих рабочих органов:

- механизма подачи, состоящего из механизма прижима вальцов и привода подачи бревна;
- механизма режущего инструмента, включающего коросниматель с устройством прижима.

В настоящей работе рассматривается в качестве устройства прижима для рабочих органов пневмогидропривод с автоматическим управлением, что принципиально отличает его конструкцию от устройства с механическим прижимом. При этом для прижима вальцов исследуется конструкция в первом варианте с механическим прижимом (рисунок 1), а во втором варианте с автоматически управляемым пневмогидроприводом.

Механизм режущего инструмента рассматривается оснащенным автоматически управляемым пневмогидроприводом. Для принципиально новых конструкций первоначально потребовалось разработать кинематические схемы, конструктивное устройство которых ориентировано на работу с автоматической стабилизацией прижима рабочего органа к поверхности лесоматериала (рисунки 2,а,б).

В конструкции вальцового механизма подачи с механическим прижимом вальцов в настоящей работе исследуется процесс раскрытия вальцов с захватом лесоматериала и последующим выходом их на поверхность ствола. С этой целью рассматривается система «вальцовый механизм – бревно» во взаимосвязи всех элементов (см. рисунок 1).



1 – рычаг вальца; 2 – лесоматериал; 3 – валец; 4 – рычаг синхронизации; 5 – демпфер;
 F – сила подачи транспортера; $M_{кр}$ – крутящий момент на вальце; S – перемещение бревна;
 $P_{н}$ – сила действия пружины; $P_{т}$ – сила тяги вальцов; $P_{и}$ – сила инерции; D – диаметр бревна;
 h – коэффициент демпфирования; $J_{РВ}$ – момент инерции рычага вальца; $V_{б}$ – скорость бревна;
 $V_{о}$ – линейная скорость вальца

Рисунок 1 – Расчетная кинематическая схема механизма подачи с механическим прижимом вальцов

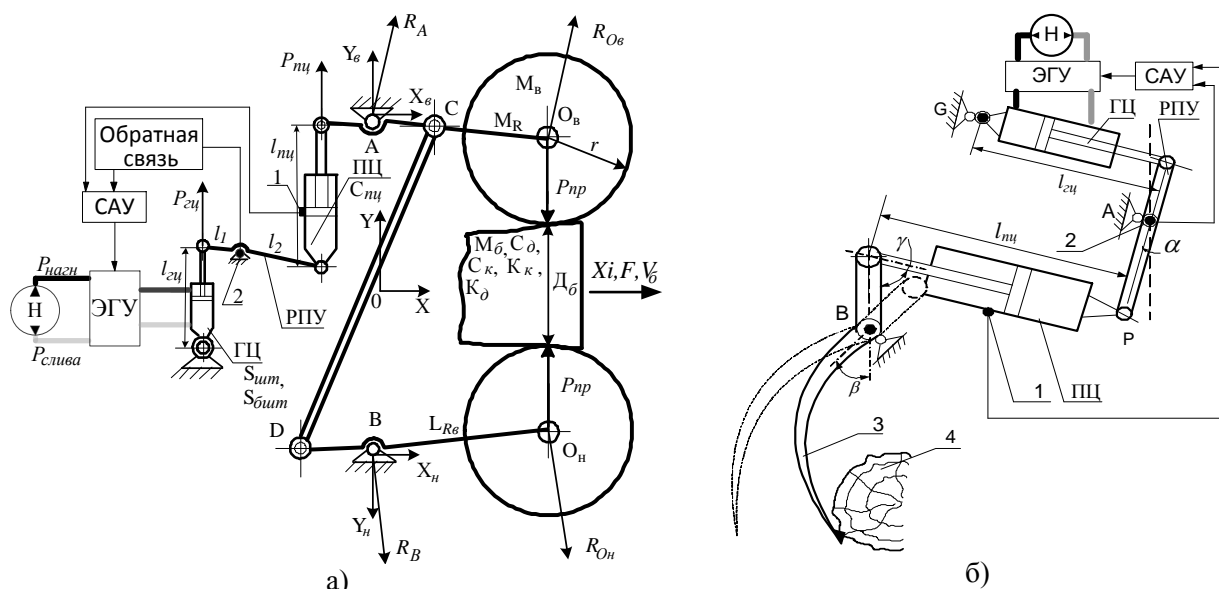
Наиболее важными параметрами, характеризующими захват бревна, являются сила подачи и динамические нагрузки, возникающие в момент встречи торца бревна с вальцами. Эти параметры являются важнейшими проявлениями свойств изучаемой системы, которые зависят от ее внутренней структуры. Процесс захвата зависит от многих факторов. Поэтому проведен анализ системы в условиях, при которых изучаемое свойство проявляется наиболее характерно. Для данной механической системы и исследуемых параметров – в статике, кинематике и динамике.

Цель статического анализа – установить зависимость силы подачи для захвата бревна от параметров подающего механизма и определить оптимальные их значения, при которых сила будет минимальной.

Во время раскрытия вальцов линейная скорость рычага в точке O , т. е. центре вальца, отличается от скорости движения бревна и зависит от параметров вальцового механизма. Чем меньше будет максимальная скорость центра вальца в начале раскрытия, тем меньше будут ускорения и, следовательно, динамические нагрузки, возникающие в механизме.

Для изучения этого процесса выполнены кинематический анализ, целью которого было выявление зависимости скорости центра вальца от подачи бревна и кинематических параметров, и выбор таких значений этих параметров, при которых во время захвата скорость точки O будет минимальной.

Целью динамического анализа являлись оценка влияния режимов работы, кинематических параметров, жесткости и демпфирующих свойств системы «бревно – механизм подачи» на величину максимальных нагрузок во время захвата бревен и определение параметров, обеспечивающих минимальные динамические нагрузки. В результате теоретических исследований было разработано математическое описание процесса, позволяющее моделировать процесс захвата лесоматериала вальцами с момента касания их торцевой части бревна и выхода вальцов на поверхность ствола.



а – механизм прижима вальцов; б – коросниматель; 1 – датчик положения поршня ПЦ; 2 – датчик положения РПУ; 3 – коросниматель; 4 – лесоматериал; САУ – система автоматического управления; ЭГУ – электрогидравлический усилитель; Н – насос; АС, ВД – звено кронштейна; АО_в, ВО_н – рычаги вальцов; ГЦ – гидроцилиндр; ПЦ – пневмоцилиндр; РПУ – рычаг передачи усилия; ДС – рычаг синхронизации раскрытия вальцов; $P_{нагн}$, $P_{слива}$ – давление нагнетания (рабочее) и слива; $l_{гц}$ и $l_{нц}$ – длина гидро- и пневмоцилиндра; l_1 , l_2 – длины плеч РПУ; $L_{Rв}$ – длина рычага вальца; $S_{шт}$ и $S_{бшт}$ – площадь поршня в штоковой и бесштоковой полостях; $C_{нц}$, $C_{д}$ и $C_{к}$ – жесткости соответственно пневмоцилиндра, древесины и коры; $M_{в}$, $M_{б}$, $M_{Rв}$ – массы соответственно вальца, бревна, рычага вальца; $K_{к}$, $K_{д}$ – коэф. демпфирования коры и древесины; $D_{б}$ – диаметр бревна; $V_{б}$ – скорость подачи; $O_{в}$ и $O_{н}$ – центры верхнего и нижнего вальцов; F – сила подачи конвейера; X_i – перемещение бревна; r – радиус вальца; $R_{Oн}$ – сила реакции на валу нижнего вальца; $R_{Oв}$ – сила реакции на валу верхнего вальца

Рисунок 2 – Расчетные кинематические схемы рабочих органов с автоматически управляемым пневмогидроприводом

Необходимая для этого сила подачи транспортера F определяется из соотношения

$$[M_{пр} - P_T \cos^2 \alpha_i \sin(\beta_i - \alpha_i) R] / [R \cos(\beta_i - \alpha_i)] \cos \alpha_i - 2P_T \sin \alpha_i - F_i = 0, \quad (1)$$

где $M_{пр}$ – момент от силы прижима вальцов, определяется по формуле

$$M_{пр} = P_{п} L \sin \beta_2;$$

$P_{п}$ – сила действия пружины от предварительного натяжения;

P_T – сила тяги вальцов определяется по формуле

$$P_T = M_{кр} f / (r \operatorname{tg} \alpha_{сн});$$

f – коэффициент сцепления вальцов с древесиной;

$\alpha_{сн}$ – угол сцепления вальцов с древесиной находится из выражения:

$$\alpha_{сн} = [\arctg f + \arctg (M_{кр} / r P_{пр}) + K \arccos E] / 2;$$

$P_{пр}$ – сила прижима вальцов в точке контакта с торцевой частью бревна, рассчитывается по формуле

$$P_{пр} = (F_i \cos \alpha_i) / 2 + M_{пр} \sin^2 \alpha_i / R;$$

K – коэффициент масштаба, равный 10;

$$E = \cos \{ \{ \arctg [(M_{кр} / (r P_{пр})) - \arctg f] / K \} \}.$$

В модели (1) значения углов α_i и β_i при S_i перемещении бревна рассчитываются по формулам

$$\beta_i = \arctg(D+S_i)/Z + \arccos \{ (R^2 + Z^2 + (D+S_i)^2 - r^2) / [2R(Z^2 + (D+S_i)^2)^{1/2}] \}; \quad (2)$$

$$\alpha_i = \pi/2 + \arctg(D+S_i)/Z - \arccos \{ (R^2 + Z^2 + (D+S_i)^2 - r^2) / [2r(Z^2 + (D+S_i)^2)^{1/2}] \}, \quad (3)$$

где Z и D находятся из выражений

$$Z = R \cos \beta + r \sin \alpha; \quad D = R \sin \beta + r \cos \alpha,$$

где β и α – начальные значения углов (в момент касания торцевой части бревна вальцов); через угол α в системе сил выражен диаметр бревна по формуле

$$\alpha = \arcsin \{ \{ (D/2) / \{ 2[r - (r - D_{\min}/2)] \} \} \},$$

где D_{\min} – минимальный диаметр бревна, обрабатываемого

на станке данного типоразмера.

В результате исследований в статике получены зависимости силы подачи, необходимой для захвата, от различных технологических и конструктивных параметров механизма.

В результате кинематического анализа была выведена формула для определения скорости центра вальца V_o при захвате бревна:

$$V_o = V_6 K_1, \quad (4)$$

где K_1 – коэффициент приведения, определяемый по формуле

$$K_1 = \cos \alpha_i / \cos (\beta_i - \alpha_i), \quad (5)$$

где α_i и β_i – значения углов, град., при S_i перемещении бревна, рассчитываются по формулам (2), (3).

$$V_{\text{омах}} = f(V_6), \quad V_{\text{омах}} = f(\beta), \quad V_{\text{омах}} = f(D).$$

Для исследования скорости движения бревна и разработки модели, описывающей – это процесс, использована теорема сохранения кинетической энергии системы материальных точек. В результате теоретических исследований для определения скорости \dot{S}_i бревна при его i -м элементарном перемещении в процессе захвата была получена формула

$$\dot{S}_i = \{ [A_o + \dot{S}_{i-1}^2 (M_6/2 + J_B/r^2 + J_{RB}/B^2)] / (M_6/2 + J_B/r^2 + J_{RB}/B^2) \}^{1/2}, \quad (6)$$

где определение работы A_o на элементарном перемещении S_i по обобщенной координате и сумма сил Q находятся по формулам

$$A_o = Q (\beta_i - \beta_{i-1})$$

где $Q = B_5 - B h \dot{S}_{i-1} l^2$,

$$B_5 = B_1 - B_2 B + B_3 B,$$

$$B_1 = (F_i + 2P_T \sin \alpha_i) \cos \alpha_i \cos (\beta_i - \alpha_i);$$

$$B_2 = \{ (P_{\Pi} + 2CL \sin[(\beta_i - \beta)/2]) \} L;$$

$$B_3 = 2P_T \sin (\beta_i - \alpha_i) R;$$

$$B = \cos \alpha_i / [\cos (\beta_i - \alpha_i) R];$$

h – коэффициент вязкого трения демпфера;

C – коэффициент жесткости пружины;

P_{Π} – сила действия пружины от предварительного натяжения;

F_i – сила подачи транспортера, находится из выражения (1).

Решение уравнения (6) выполняется численным методом. Предложенный алгоритм был реализован в виде имитационной модели процесса захвата бревна вальцами. По разработанной программе исследуется влияние на скорость бревна при захвате кинематических параметров механизма, скорости подачи, диаметра и физико-механических свойств поверхности лесоматериала. В результате получены зависимости $V_6 = f(P_{\Pi})$, $V_6 = f(\beta)$, $V_6 = f(R)$, $V_6 = f(S)$.

Для оценки динамических нагрузок при ударе торцевой части бревна о вальцы и последующем захвате на основе уравнения Лагранжа 2-го рода получено

уравнение движения системы

$$M_{\text{пр}} \ddot{S} - A B_4 h l^2 \dot{S} - 2J_{\text{РБ}}^2 / R^2(A)'_s \dot{S}^2 - B_5 = 0, \quad (7)$$

где $M_{\text{пр}}$ – приведенная масса системы, находится по формуле

$$M_{\text{пр}} = 2(M_6 / 2) + J_{\text{в}} / r^2 + J_{\text{РБ}} A^2; \quad (8)$$

$M_6, J_{\text{в}}, J_{\text{РБ}}$ – масса бревна, момент инерции вальца и рычага вальца;

A – коэффициент приведения, определяемый из формулы (5):

$$A = \cos \alpha_i / [R \cos (\beta_i - \alpha_i)], \quad (9)$$

где α_i и β_i – значения углов, град., при S_i элементарном i -ом перемещении бревна, рассчитываются по формулам (2),(3);

$$B_4 = \cos \alpha / \cos (\beta - \alpha);$$

$$B_5 = B_1 - B_4(B_2 - B_3);$$

$$B_1 = (F_i + 2P_{\text{т}} \sin \alpha_i) \cos \alpha_i \cos (\beta_i - \alpha_i);$$

$$B_2 = \{(P_{\text{п}} + 2C_{\text{пр}}L \sin[(\beta_i - \beta) / 2])\} L;$$

$C_{\text{пр}}$ – приведенная жесткость системы, определяется по формуле

$$C_{\text{пр}} = C_6 C / (C_6 + C); \quad (10)$$

C_6, C – коэффициенты жесткости бревна и пружины;

$P_{\text{п}}$ – сила действия пружины от предварительного натяжения;

h – коэффициент вязкого трения демпфера;

l – расстояние от оси вращения рычага до точки крепления демпфера;

F_i – сила подачи транспортера для захвата, находится из выражения (1).

Дифференциальное уравнение (7) является нелинейным и может быть решено только численным методом. Преобразованное для решения на компьютере методом Рунге-Кутты, оно имеет вид

$$\begin{cases} \dot{Y}_1 = Y_2; \\ \dot{Y}_2 = (-B_4 A h l^2 Y_2 - 2J_{\text{РБ}}^2 / R^2(A)'_{Y1} Y_2^2 - B_5) / J_{\text{пр}}. \end{cases} \quad (11)$$

Результатом исследований этого этапа было получение зависимостей силы подачи, необходимой для захвата, скоростных параметров вальцов и бревна, динамических нагрузок на конструкцию от основных технологических и конструктивных параметров механизма подачи.

С использованием полученных математических моделей в завершение выполнена постановка задачи оптимального проектирования параметров механизма подачи и рассчитаны параметры конструкции, обеспечивающие минимальные динамические нагрузки и силу подачи, необходимую для захвата бревна. За критерий оптимизации принят обобщенный показатель эффективности, при формировании которого выполнялась нормализация частных показателей эффективности F и V_0 . Для этого на первом шаге алгоритма оптимизации определяются их максимальные и минимальные значения. В процессе проектирования весовые коэффициенты (N_1 и N_2), позволяющие оценить приоритеты частных показателей, определяются методом экспертных оценок. Сформированный таким образом обобщенный показатель эффективности W , соответствующий целевой функции, имеет вид:

$$W = N_1(F - F^-) / (F^+ - F^-) + N_2(V_0 - V_{\text{omin}}^-) / (V_{\text{omax}}^+ - V_{\text{omin}}^-), \quad (12)$$

где F^- , V_{omin}^- и F^+ , V_{omax}^+ – минимальные и максимальные значения частных показателей.

Формально задача оптимизации представлена в следующем виде:

$W(\mathbf{X}) \rightarrow \min$, $\mathbf{X} \in D$, где D – область допустимых значений управляемых параметров при ограничениях:

$$0^\circ < X_1 < 90^\circ; \quad (13)$$

$$r < X_2 < 1,5 r; \quad (14)$$

$$X_2 \cos X_1 > D_{\text{бmax}} / 3; \quad (15)$$

$$X_2 < P_{\text{н}} L \cos \beta_2 / P_{\text{пр}}; \quad (16)$$

$$X_3 = M_{\text{кр}i}, i = 1, 2, \dots, m, \quad (17)$$

т. е. при заданных ограничениях найти вектор управляемых параметров \mathbf{X} , который обращает в минимум показатель эффективности $W(\mathbf{X})$.

Особенностью предлагаемых конструктивных решений с пневмогидроприводом является введение в кинематическую цепь (рисунок 2) упругого элемента ПЦ (пневмоцилиндра) выполняющего функцию первоначально заданного прижима рабочего органа, фильтра высокочастотных колебаний и одновременно датчика изменения положения штока, что эквивалентно изменению усилия прижима.

В расчете на имитационное моделирование предусматривалась разработка соответствующего алгоритма и математической модели для каждой конструкции рабочего органа. Кинематическая схема привода короснимателя разрабатывалась с учетом специфики имитационной модели, которая была создана в среде Simulink. В этом случае отрабатывалась модель в завершенном виде, т.е. одновременно с гидроприводом. Оптимизация параметров конструкции МПИ на этом этапе выполняется по критерию быстродействия кинематической схемы. Для этой цели использовались стандартные средства MatLab.

При разработке механизма прижима вальцов первоначально была разработана структурная схема модели механизма подачи с МПВ (рисунок 3), в соответствии с которой в дальнейшем создавалась модель на основе концепции визуально-блочного имитационного моделирования. Модель выполнена в общем виде, а ее реализация в среде Simulink+Simscape приложений MatLab приведена на рисунке 4, где в левом окне формы показана структура модели.

Оптимизация параметров конструкции МПВ выполнена по условию обеспечения точности центрирования бревна. В качестве критерия оптимальности W принята сумма квадратов g отклонений ΔS оси симметрии вальцов в процессе разведения-сведения, измеренных через определенный k -й шаг.

Формальная запись критерия оптимизации, представляющего собой целевую функцию W , имеет следующий вид:

$$W = \sum_{k=1}^g \Delta S_k^2. \quad (18)$$

Для решения задачи сформирован вектор управляемых параметров модели:

$$\mathbf{X} = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5], \quad (19)$$

где X_1 – угол наклона рычага вальцов β , град;

X_2 – длина рычага вальцов R , м;

X_3 – длина кронштейнов $AC=DB$ рычага вальцов, м;

X_4 – угол наклона кронштейна верхнего рычага β_1 , град;
 X_5 – угол наклона кронштейна нижнего рычага β_2 , град.

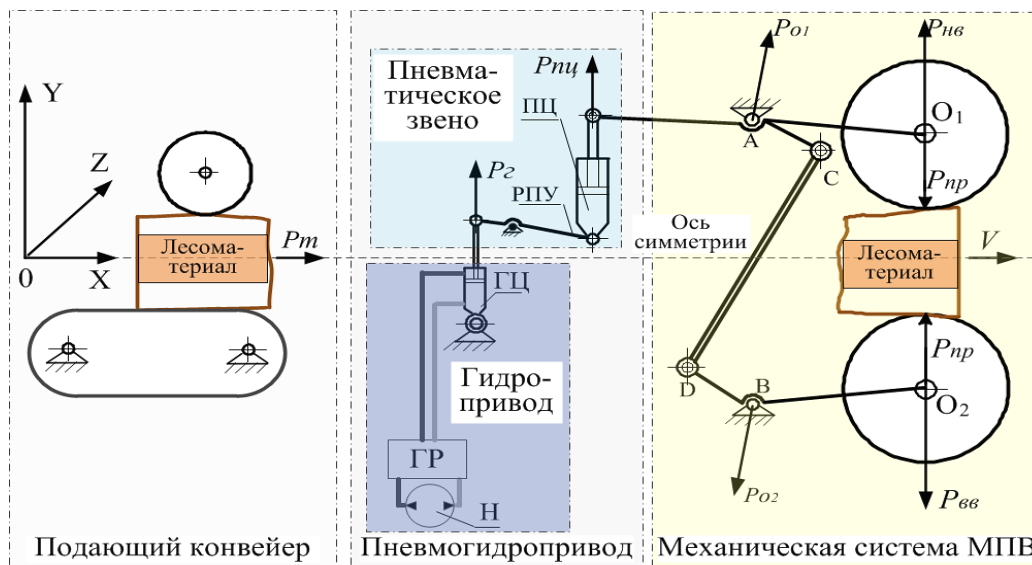


Рисунок 3 – Структурная схема модели механизма подачи с МПВ

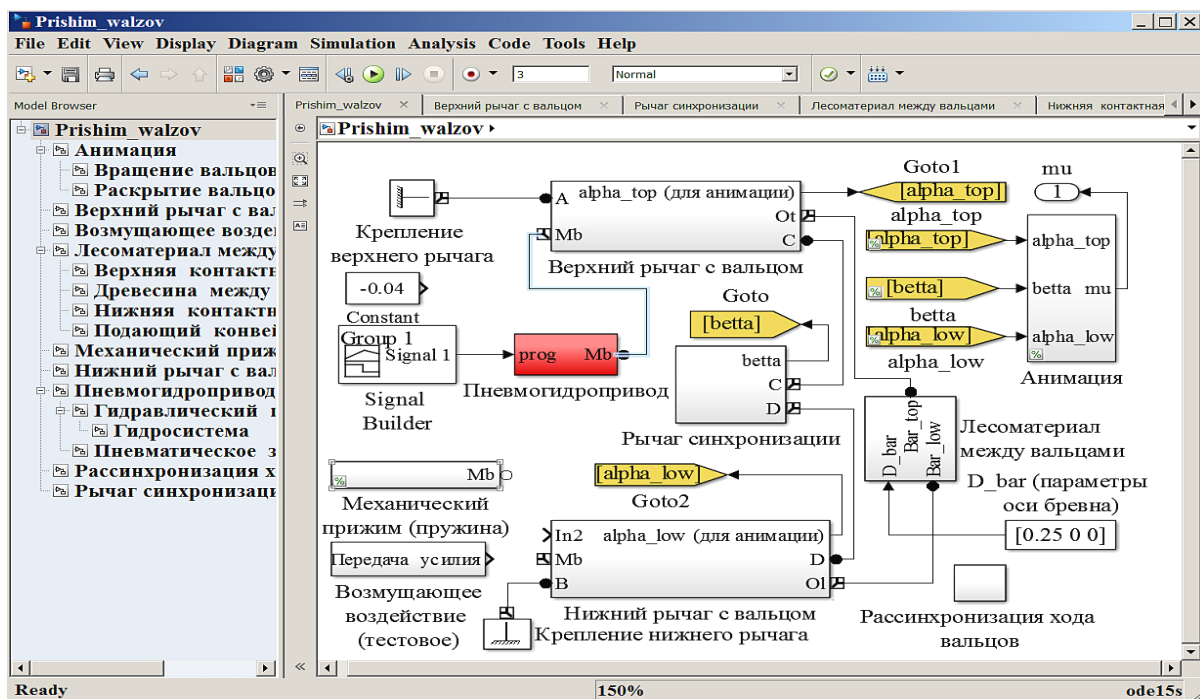


Рисунок 4 – Визуальная форма в Simulink обобщенной модели МПВ

Формально задача оптимального проектирования кинематической схемы с использованием имитационной модели имеет вид

$W(X) \rightarrow \min$, $X \in D$, где D – область допустимых значений управляемых параметров при ограничениях:

$$55^\circ < X_1 < 65^\circ; \quad (20)$$

$$0,4 < X_2 < 0,5; \quad (21)$$

$$0,3 X_2 < X_3 < 0,6 X_2; \quad (22)$$

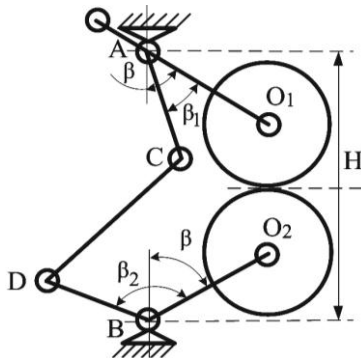
$$0^\circ < X_4 < 40^\circ; \quad (23)$$

$$90^\circ < X_5 < 180^\circ; \quad (24)$$

$$R \cos \beta > D_{\text{бmax}} / 3. \quad (25)$$

В терминах нелинейного программирования задача звучит следующим образом: в области допустимых значений следует найти вектор управляемых параметров (19) имитационной модели, удовлетворяющий ограничениям (20)-(25) и минимизирующий целевую функцию (18).

По критерию минимизации ошибки центрирования бревна средствами MatLab были найдены оптимальные параметры, обеспечивающие минимальное (не более 2,5 мм) смещение оси симметрии при разведении-сведении вальцов (см. рисунок 5), а также все технологические и конструктивные требования к механизму подачи.



CD—рычаг синхронизации;
AC,BD—кронштейны; AO₁,
BO₂—рычаги вальцов

Рисунок 5 – Предложенная кинематическая схема механизма прижима вальцов

В качестве метода поиска оптимального решения используется метод покоординатного спуска, который повторяется на каждом этапе разработки конструкции стандартными средствами MatLab, реализуя многопараметрическую оптимизацию. На каждом этапе в качестве ограничений принимались оптимальные значения параметров, найденные на предыдущем этапе, поэтому в полном цикле выполнялся алгоритм поэтапной оптимизации параметров конструкции. В результате оптимизации предложено конструктивное решение вальцового механизма (рисунок 5) и рассчитаны параметры, обеспечивающие максимальную точность работы механизма.

Глава 3. Разработка, исследование и оптимизация параметров пневмогидропривода рабочих органов станка

Для конструкций рабочих органов с предложенными кинематическими схемами выполнена разработка гидропривода. Использовались принципиально два разных метода моделирования. Так для гидропривода короснимателя разработана математическая модель с детализированным описанием его работы. Математическая модель синтезирована в среде Simulink в виде имитационной модели. Ее структура показана на рисунке 6. Для определения параметров элементов гидропривода выполнялась отработанная в предыдущих разделах процедура оптимизации стандартными средствами MatLab.

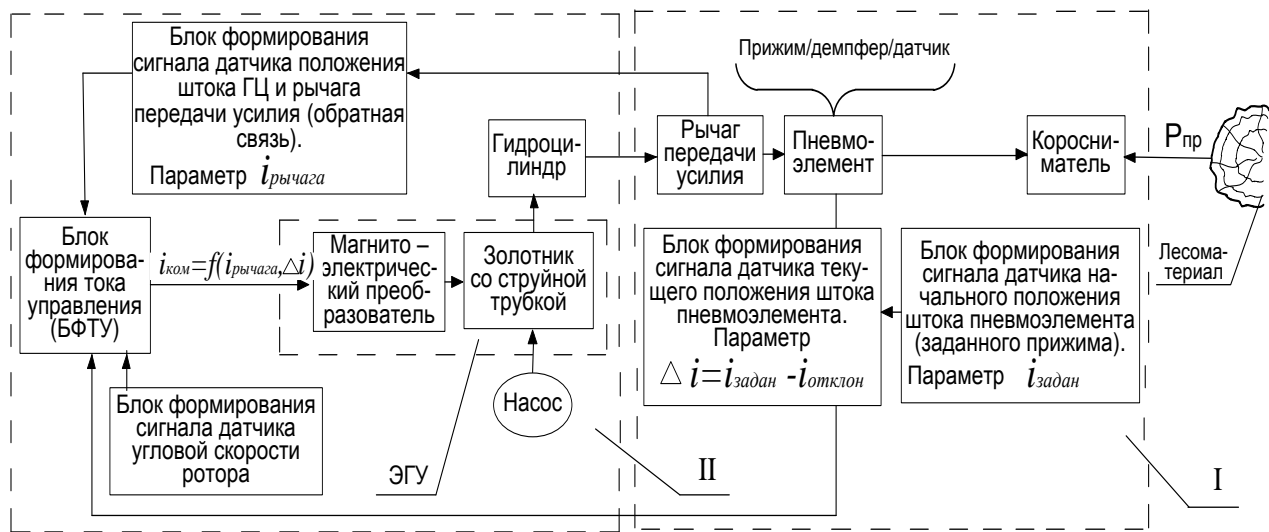
Исследование модели выполнялось на тестовые воздействия. Сравнение результатов с известными экспериментальными данными показали достаточную адекватность модели реальным объектам.

Разработка имитационной модели механизма прижима вальцов выполнялась в среде Simscape, что предусматривало другой уровень идеализации – объектами, а не функциями – в отличие от концепции Simulink. Визуальная форма обобщенной модели МПВ, включающей гидросистему приведена на рисунке 4.

Глава 4. Разработка, исследование и оптимизация параметров систем автоматического управления пневмогидроприводом рабочих органов

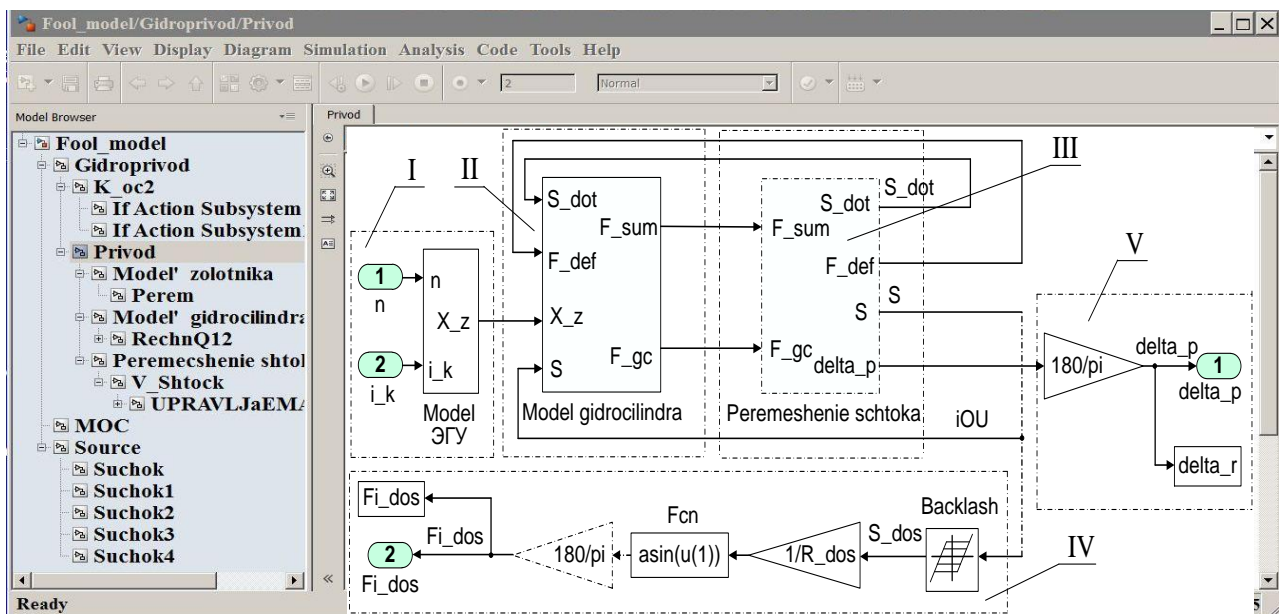
Глава посвящена разработке САУ гидроприводом рабочих органов. Струк-

турная схема короснимателя с автоматически управляемым пневмогидроприводом (рисунке 6) реализована в обобщенной модели (см. рисунок 7).



I – модель объекта управления; II – модель гидропривода короснимателя;
ЭГУ – электрогидравлический усилитель

Рисунок 6 – Структурная схема короснимателя с автоматически управляемым пневмогидроприводом



I – подсистема «Модель золотника ЭГУ»; II – подсистема «Модель гидроцилиндра»;
III – подсистема «Перемещение штока и рычага»; IV – подсистема «ДОС» (датчик обратной связи); V – блок «Контроль перемещений органа управления»

Рисунок 7 – Структура обобщенной имитационной модели гидропривода короснимателя в Simulink-формате

Предлагаемая САУ построена на ПИД-регуляторе дискретного типа, для которого выведена передаточная функция. Подбор и оптимизация параметров автоматически управляемого пневмогидропривода МРИ выполнялись на трех этапах:

1) при разработке кинематической схемы и исполнительной части собственно пневмогидропривода короснимателя. Оптимизация параметров привода выполнялась в среде Simulink по процедуре, описанной в гл.3;

2) в процессе разработки пневмогидропривода с системой автоматического управления;

3) при оптимизации параметров передаточной функции САУ с использованием в MatLab приложения «Signal Constraint».

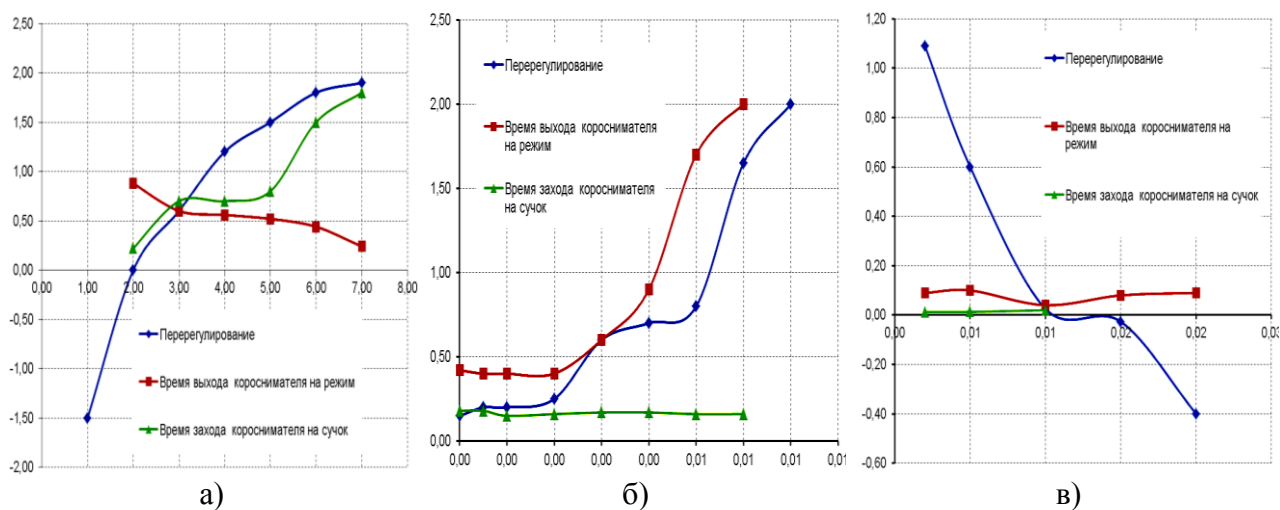
Строго говоря, оптимальные параметры были найдены только на последнем этапе, а на первых этапах получены значения, оптимальные по Парето.

Оптимизация с использованием функции «Signal Constraint» выполнялась на переходных режимах по критериям качества управления с учетом возможной противоречивости критериев и выработки компромисса между ними. Критериями качества для данной модели являются:

- максимальная величина перерегулирования, Н;
- время выхода на режим при установке рабочего органа на бревно, мс;
- время захода на неровность (сучок), мс.

В этом случае вырабатывается обобщенный показатель эффективности в нормированном виде, веса критериев по умолчанию задаются равноприоритетными. Ограничения управляемых параметров в функции «Signal Constraint» задаются путем определения границ режимов переходного процесса. Результаты оптимизации графически показаны на рисунке 8. Работа САУ исследована на устойчивость по критериям Найквиста и Боде.

Для разработки САУ пневмогидроприводом механизма прижима вальцов и получения передаточной функции предложено два метода. Соответственно разработана методика получения передаточной функции привода МПВ на основе гидродинамической схемы системы.



а – от коэффициента пропорциональности (K_p); б – от периода дискретизации T_0 ; в – от коэффициента дифференциальной составляющей (T_d)

Рисунок 8 – Оптимизация передаточной функции САУ короснимателя

Этот метод используется в ограниченных условиях, поэтому была предложена вторая методика построения контура системы управления методом частотной идентификации объекта управления и вывода передаточной функции линеаризо-

ванной системы гидропривода механизма. Полученная передаточная функция с оптимальными параметрами имеет вид

$$W(p) = \frac{14,21p + 345}{p^2 + 23,25p + 479,7} \quad (26)$$

Работа САУ с предложенной передаточной функцией была исследована по переходным режимам на устойчивость с использованием оптимизатора в утилите «PID Tuner» MatLab. Были построены графики переходных процессов, амплитудно-частотной, фазочастотной характеристики и амплитудно-фазовой характеристики (годограф Найквиста), диаграммы Боде.

Глава 5. Системы нечеткого управления пневмогидроприводом рабочих органов. Нечеткое моделирование предмета труда и процесса окорки

Для систем управления пневмогидроприводом рабочих органов в результате нечеткого вывода в среде FIS Editor приложения MatLab получены соответствующие функции. В графическом виде они приведены на рисунке 9.

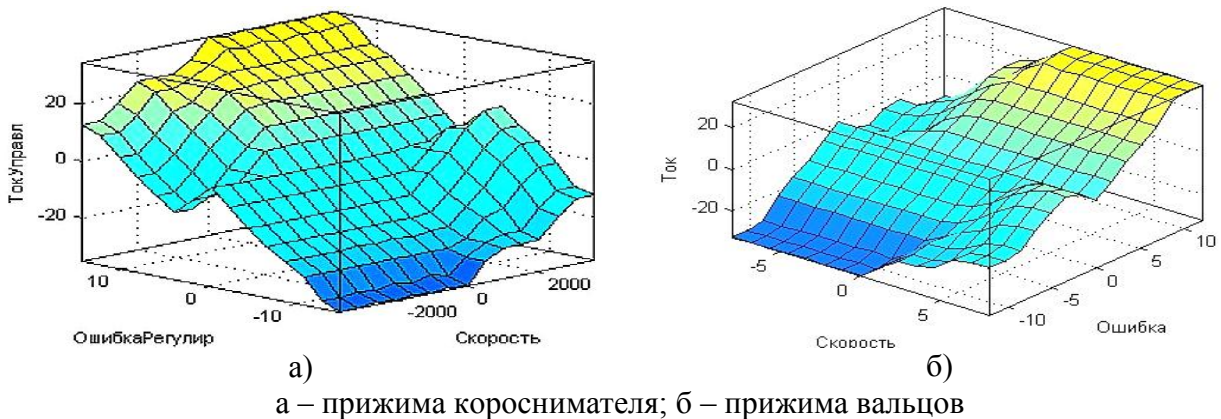


Рисунок 9 – Функции управления пневмогидроприводом рабочих органов

Способы включения нечеткого регулятора (FIS) в структуру моделей САУ пневмогидроприводом рабочих органов показаны на рисунках 10,11. Предложено гибридное решение САУ по двухконтурной (первый контур на нечеткой логике, второй на ПИД-регуляторе) схеме управления. Работа моделей исследовалась на тестовые сигналы (рисунок 12), где приведены графики задающего сигнала в виде трапецевидного профиля неровности ствола.

Графики отработки угла поворота короснимателя и рычага вальца в зависимости от выходного сигнала, полученные при управлении ПИД-регулятором и нечетким контроллером приведены на рисунке 12.

Исследование работы регуляторов показывает, величина перерегулирования при ПИД-регуляторе САУ короснимателем достигает 12 %, механизмом прижима вальцов – до 6,5 %, а на нечетком контроллере – не более соответственно 22 и 8 %. Длительность переходного процесса увеличивается на 24 и 30 %.

Особенности работы объясняются высокой точностью настройки и оптимизации параметров ПИД-регулятора. Преимущество нечеткого регулятора не в точности, а в более широких функциональных возможностях. При любых изменениях параметров МРИ, свойств древесины, жесткости пружин, при замене

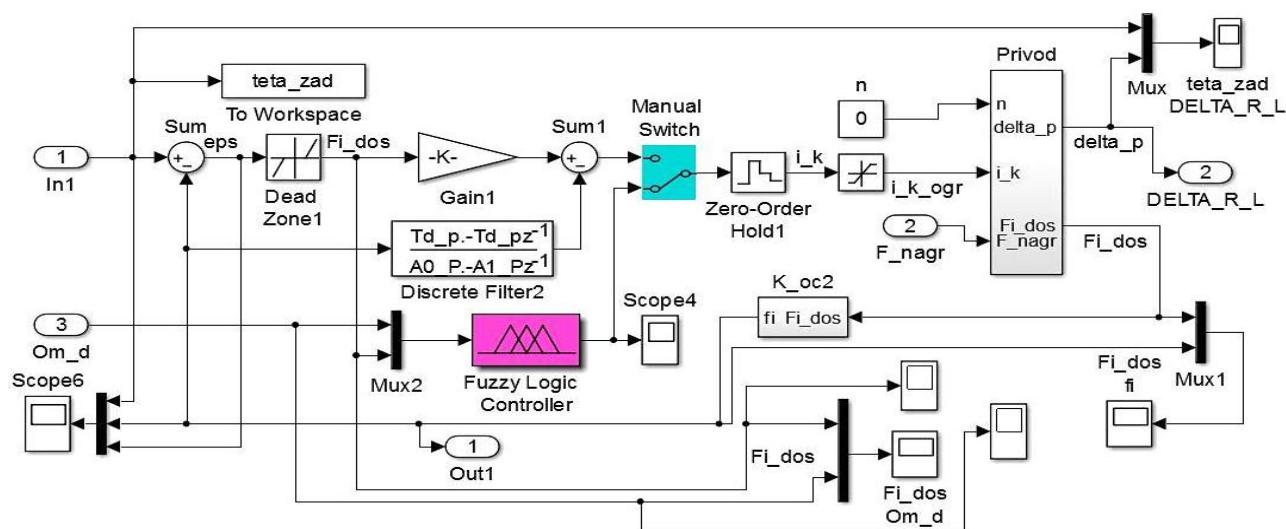


Рисунок 10—САУ пневмогидроприводом короснимателя с нечетким регулятором

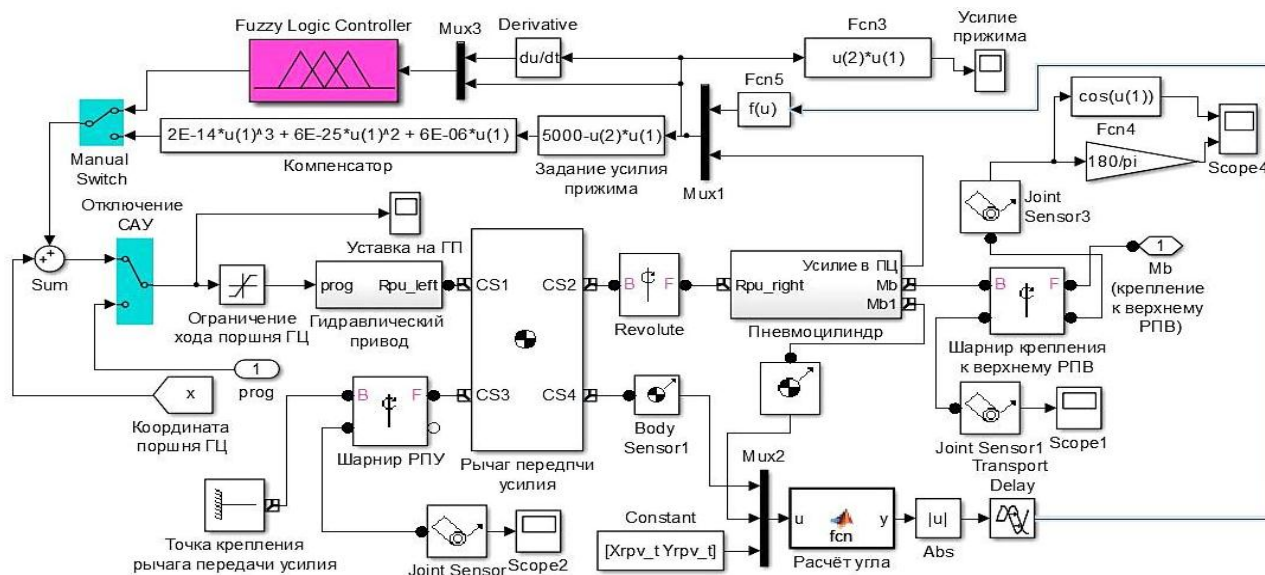


Рисунок 11 – САУ пневмогидроприводом МПВ с нечетким регулятором

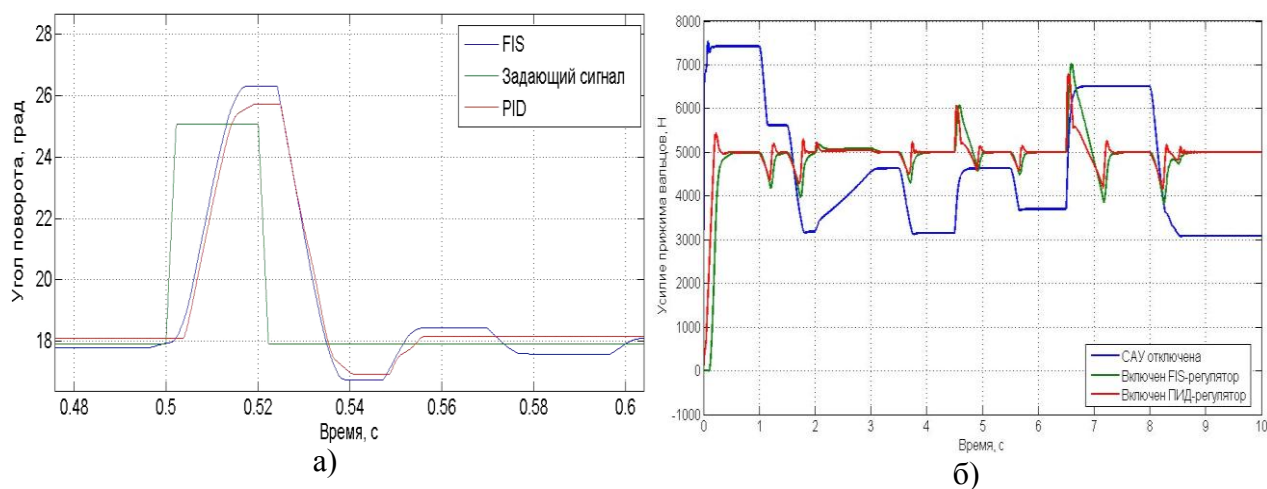


Рисунок 12 – Сравнение работы САУ на ПИД- и на нечетком регуляторах

короснимателей, отличающихся массой, ПИД-регулятор будет не оптимален.

В свою очередь, FIS-регулятор может быть настроен сразу на несколько параметров, и при их изменениях будет выполнять регулирование. Кроме того, при последовательном включении обоих регуляторов FIS-регулятор может выполнять автоматическую настройку коэффициентов ПИД-регулятора при любых изменениях процесса работы и конструктивных параметров.

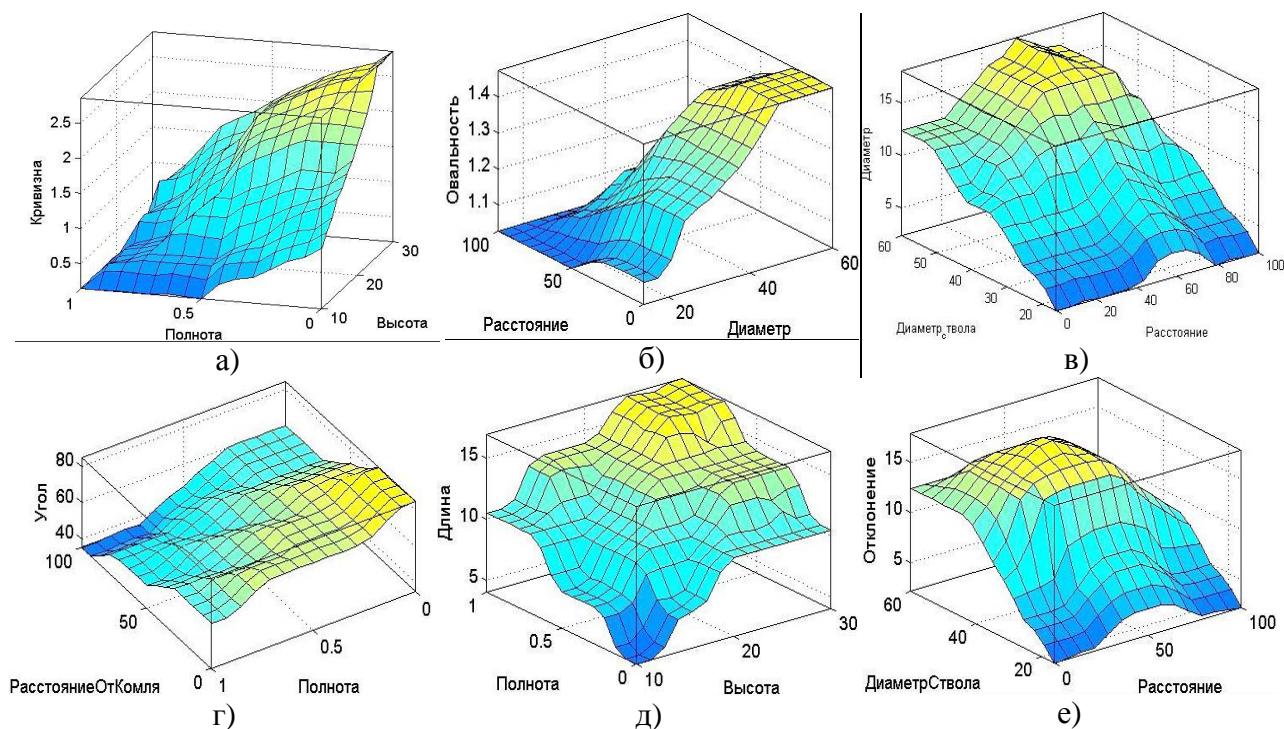
Особенности включения нечетких регуляторов в модели приводов имеют различия. Так, для модели привода короснимателя предусмотрено включение нечёткого регулятора во внутренний контур, а для контроллера внешнего контура разработан пропорциональный регулятор аналогового типа.

Исследования системы управления прижимом короснимателя выполнены при двух альтернативных вариантах. Вначале был установлен и исследован контроллер на базе ПИД-регулятора. Затем был включен, как показано на рисунке 10, контроллер на базе нечёткой логики. Численные эксперименты показали, что лучшее качество управления обеспечивается САУ на разработанном ПИД-регуляторе. В этом случае использование ПИД-регулятора с оптимизированными коэффициентами позволяет достичь максимального быстродействия и лучше выполнить задачи внутреннего контура управления. Однако в то же время более широкие функциональные возможности нечёткого контроллера в данной схеме не используются.

В модели МПВ с учетом результатов экспериментов с приводом короснимателя нечеткий контроллер включен во внешний контур (см. рисунок 11). Внутренний контур построен на ПИД-регуляторе и обеспечивает максимальное быстродействие, качество переходных процессов гидродинамической системы. Результаты численного моделирования показали, что такая архитектура построения САУ является предпочтительной. Преимущество выбранной схемы в том, что пропорциональный регулятор с оптимальными параметрами всегда выполнит команду от внешнего контура быстрее, чем если бы это было нечеткое управление. Поэтому при сохранении максимального быстродействия и качества отработки сигналов управления гидродинамической системой в сервоприводе за счёт использования ПИД-регулятора во внешнем контуре будет более функциональный и гибкий инструмент управления на базе контроллера на нечёткой логике.

Для моделирования объекта труда окорочных технологий в результате нечеткого вывода получены функции размерно-качественных характеристик лесоматериалов: кривизны $K=f(h, \Pi)$, овальности $O=f(L, D)$, максимальной толщины сучка по мутовке $d_M=f(L, D)$, толщины конкретного сучка $d=f(d_M, \alpha_\Gamma)$, угла вертикального направления сучков $\alpha_B=f(L, \Pi)$, длины бессучковой зоны $l=f(\Pi, h)$, максимальной величины наплыва около сучков $H_C=f(d, D_O)$, величины искажения овальности сечения от наплыва $O_H=f(l_B, l_\Gamma)$. При этом параметры: расстояние конкретного сучка или сечения ствола от комля L , координата точки искажения овальности сечения от наплыва у основания сучка по вертикали l_B , координата точки искажения овальности сечения от наплыва у основания сучка по горизонтали l_Γ , угла горизонтального направления сучка α_Γ , количество сучков на метре длины K_C , параметры закомелистости (величина, вид (округлая, ребристая), протяженность, величина по выступам и впадинам (для ребристой), количество ре-

бер по окружности) определяются путем вероятностного моделирования, величина сбега (функция расчетной величины сечения ствола D_0) рассчитывается по известным формулам. Также в модели используются характеристики полноты лесонасаждения Π и толщины дерева в определенном месте D_M , которые получаются расчетным путем от срединной толщина дерева D и высоты дерева h . На рисунке 13 изображены графики функций параметров формы (рисунки 13,а,б) и параметров сучков (рисунки 13,в-е).



а – кривизна $K=f(\Pi, h)$; б – овальность $O=f(D, L)$; в – толщина максимального сучка по мутовке $d_M=f(D, L)$; г – угол вертикального направления сучка, $\alpha_B=f(\Pi, L)$; д – длина бессучковой зоны $l=f(\Pi, h)$; е – максимальная величина наплыва около сучков $H_C=f(d, D_0)$

Рисунок 13 – Функции параметров лесоматериала

Наиболее эффективно использование нечеткого моделирования будет в моделях, где выполняется, например, имитационное моделирование технологических процессов в лесоперерабатывающей отрасли. В этом случае исследуется поток лесоматериалов и некоторые его параметры могут быть с достаточной точностью описаны статистически. В общем виде модель показана на рисунке 14. Здесь в первом блоке выполняется имитационное статистическое моделирование входных параметров $X_1, X_2, X_4-X_7, X_9-X_{11}$. Затем полученные значения подаются на вход машин нечеткого вывода и рассчитываются значения выходных параметров $O, d, l, \alpha_B, K, d_G, H_C, O_H$. Все полученные параметры передаются на вход геометрической машины для графического построения объекта труда в многомерной среде проектирования, в данном случае Solid Works. Геометрическая машина представляет собой алгоритм, который управляет стандартными средствами Solid Works для графического отображения объекта в многомерном информационном пространстве.

Построенный таким образом объект является адекватной моделью предмета труда лесопромышленных технологий, в частности лесоматериала в окорочном

станке. Схема имитационного нечетко-геометрического моделирования лесоматериала показана на рисунке 14.

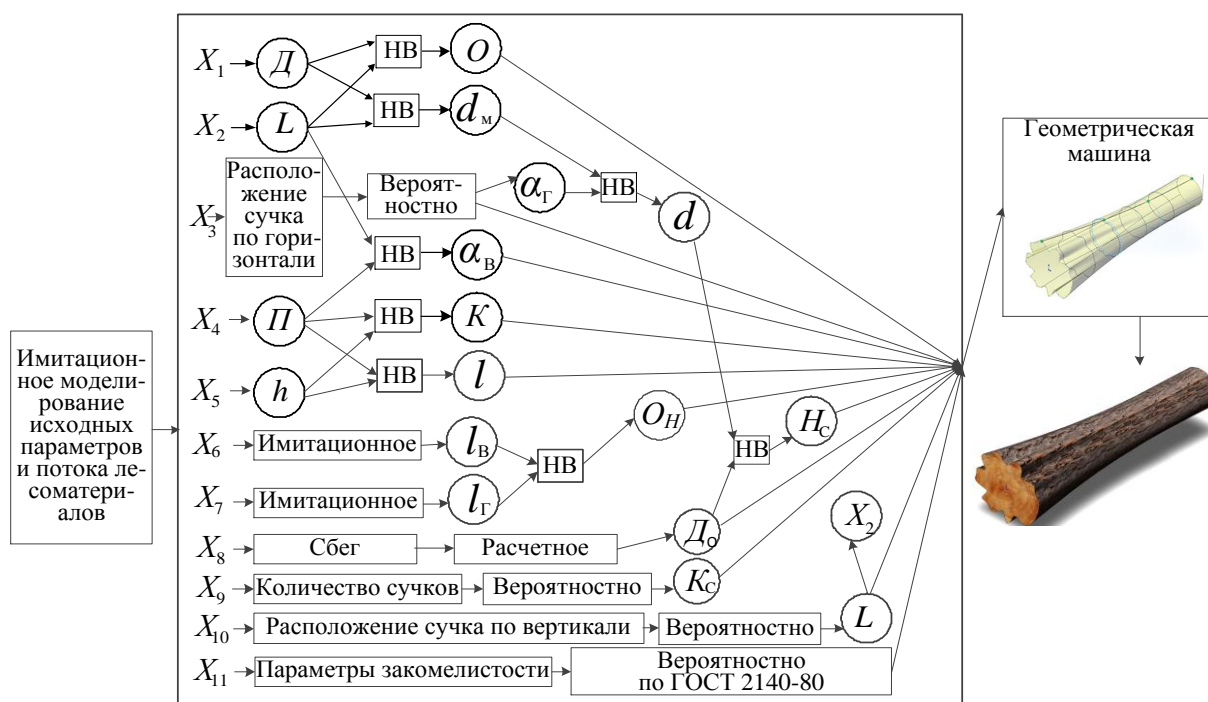


Рисунок 14 – Схема имитационного нечетко-геометрического моделирования лесоматериала

Для нечеткого моделирования процесса динамических нагрузок на короснимателе в зависимости от скорости обработки и высоты неровностей микропрофиля ствола получена соответствующая функция (рисунок 15), которая была использована в алгоритме имитационно-нечеткого моделирования процесса окорки. Результаты моделирования нормальной составляющей силы окорки приведены на рисунке 16. Сопоставление амплитудных и спектральных характеристик динамических нагрузок, полученных при моделировании с результатами натурных экспериментов, показали достаточную адекватность имитационной модели динамических нагрузок реальному процессу окорки лесоматериалов.

Глава 6. Методология экспериментальных исследований роторных окорочных станков

Как было выявлено в результате обзора проблемы, изучение методов экспериментальных исследований окорочных станков показывает недостаточную проработку этой темы, отсутствие самого необходимого оборудования для экспериментов, не говоря об отсутствии единой методологии таких исследований. С переходом на новые типы привода, использование автоматического управления и в целом с целью дальнейшего совершенствования станков следует выработать соответствующую методологию выполнения экспериментальных исследований РОС. При этом необходимо рассматривать экспериментальные исследования не только в традиционном понимании как натурные эксперименты, но и с учетом современных тенденций в виде численных машинных экспериментов на имитационных моделях и на уровне полунатурных экспериментов.

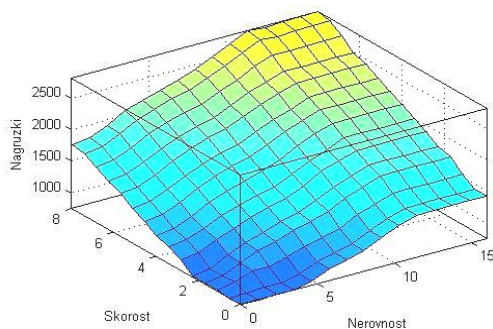


Рисунок 15 – Функция нечеткого вывода динамических нагрузок на коросниматель

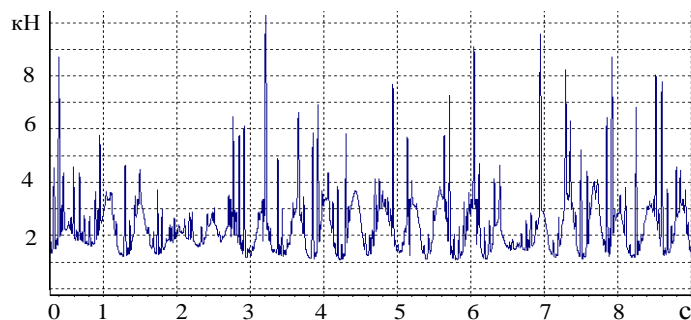


Рисунок 16 – Процесс динамических нагрузок на короснимателе, полученный на основе решения задачи нечёткого вывода

Все это предопределило необходимость разработки методологии экспериментальных исследований, и с учетом результатов теоретических исследований были определены соответствующие цель и задачи раздела.

Целью экспериментального раздела являлась разработка и апробация методологии экспериментальных исследований, включающий комплекс методик, направленных на создание новой гаммы окорочных станков с пневмогидроприводом, системами автоматического управления, а также с применением методов численных, полунатурных экспериментов и методов нечеткого и геометрического моделирования объекта труда окорочных технологий.

В соответствии с целью решались следующие задачи:

- в части натурных экспериментов:
 - разработка методики и оборудования для исследований механизма подачи при взаимодействии вальцов с лесоматериалом;
 - разработка методики и оборудования для исследований взаимодействия короснимателей с лесоматериалом;
 - разработка методики и оборудования для исследований нагрузок на инструментах в роторе окорочного станка с применением телеметрии;
- в численных экспериментах:
 - разработка методики и технических средств численного эксперимента по исследованию взаимодействия лесоматериала с короснимателем, оснащенного автоматически управляемым пневмогидроприводом;
 - разработка методики и технических средств численного эксперимента по исследованию взаимодействия лесоматериала с механизмом подачи, оснащенный автоматически управляемым пневмогидроприводом прижима вальцов;
 - разработка технологии определения воздействий и нагрузок в станке на основе имитационного нечетко-геометрического моделирования процесса окорки;
 - проведение натурных и численных экспериментов для апробации всех разработанных методик с предложенным оборудованием и средствами;
 - проверка адекватности теоретических моделей путем сопоставления с экспериментальными данными.

Экспериментальные исследования проводились в шесть обособленных этапов, три из которых посвящены натурным экспериментальным исследованиям и три этапа отведены под численные эксперименты. Каждый этап при разработке

методики включал обоснование входных и выходных параметров, разработку экспериментального оборудования, выполнение опытов, обработку результатов измерений, сравнение с результатами теоретических исследований и проверку адекватности теоретических моделей, анализ результатов экспериментов.

Натурные экспериментальные исследования выполнялись на станке ОК40-1. В результате на первом этапе методом многофакторного эксперимента получены корреляционные уравнения силы подачи транспортера, F , необходимой для захвата бревна вальцами, и возникающих при этом динамических нагрузок с технологическими параметрами процесса – толщиной бревна D_b , скоростью подачи V и нерегулируемой (автоматически) силой прижима вальцов P_{nv} к поверхности лесоматериала:

$$P = 1265,3 - 72,72 D_b - 464,7 P_{nv} - 1573,5 V + 29,1 P_{nv} D_b + 113,5 D_b V; \quad (27)$$

$$F = 178,79 - 6,31 D_b - 77,25 P_{nv} + 15,3 D_b P_{nv}. \quad (28)$$

В результате второго этапа эксперимента получены корреляционные уравнения связи динамических нагрузок при входе бревна в ротор с петлевым P_{on} и Г-образными P_{oz} короснимателями и силы сопротивления подаче в процессе окорки P_{on} , P_{oz} :

$$P_{oz} = 9210,9 - 321 D_b - 4094 P_{nk} - 8659 V + 232,34 D_b P_{nk} + 311 D_b V + 6837 P_{nk} V; \quad (29)$$

$$P_{on} = 7508,1 - 239,32 D_b - 2625,5 P_{nk} - 6194,29 V + 180,38 D_b P_{nk} + 231,1 D_b V + 5493,75 P_{nk} V; \quad (30)$$

$$P_{oz} = 206,32 - 3,73 D_b + 459,28 P_{nk} - 213,3 V + 23,39 D_b P_{nk} + 5,775 D_b V + 585,125 P_{nk} V; \quad (31)$$

$$P_{on} = 174,3 + 7,42 D_b + 488,88 P_{nk} - 272,96 V + 16,6 D_b V + 23,36 D_b P_{nk} + 629,25 P_{nk} V, \quad (32)$$

где P_{nk} – сила прижима короснимателей к поверхности лесоматериала, Н.

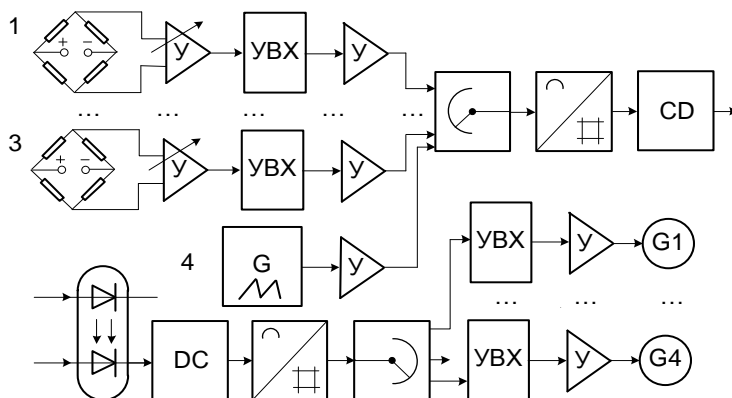
На третьем этапе была разработана методика и аппаратура телеметрии для передачи данных тензометрирования из вращающейся системы ротора. Принцип действия ее основан на цифровом преобразовании сигнала рассогласования мостовой тензоизмерительной системы с последующим кодированием в Манчестерский бифазный код и на передаче по инфракрасному каналу спектра электромагнитного излучения на приемник, где происходит декодирование сигнала, преобразование его в аналоговую форму и передача для записи на осциллограф (рисунок 17).

В ходе эксперимента осуществлялась дистанционная передача данных тензометрирования из вращающейся системы ротора. При этом были получены значения осевой и касательной сил на инструменте при обработке лесоматериала.

На четвертом и пятом этапах разрабатывались методики и средства для выполнения численного машинного эксперимента по исследованию процессов окорки на станке с автоматическим управлением короснимателя и автоматическим управлением прижима вальцов.

Важнейшим условием таких экспериментов является использование адекватной модели предмета труда – лесоматериала. Для этих целей модель лесоматериала разрабатывалась для каждого эксперимента с учетом специфики задачи и модели. Так, для исследования процесса окорки автоматически управляемым ко-

роснимателем разработана имитационная модель, в которой для воздействий на инструмент моделируется микропрофиль закомелистой поверхности по окружности ствола. Модель микропрофиля разрабатывается на основании статистических данных от реального ствола древесины, что позволяет исследовать механизм при любых заданных условиях.



1-4 – информационные каналы; Y – усилитель; УВХ – устройство выборки – хранения сигнала; G – генератор тест-сигнала; CD, DC – кодер, декодер сигнала; G1-G4 – гальванометры

Рисунок 17 – Функциональная схема измерительного комплекса телеметрии

Для исследования процесса подачи с автоматически управляемым МПВ разрабатывалась модель лесоматериала в вальцовом механизме. В этом случае ствол структурно представлен многослойной системой. В механизме он позиционируется расположенным между вальцами, а свободным концом на подающем конвейере. Микропрофиль продольной поверхности также задается полиномами, полученными на реальных лесоматериалах. В результате по предложенным методикам эксперимента выявляются основные процессы, протекающие в пневмогидроприводе рабочих органов в процессе окорки, определяется качество работы САУ, уточняются параметры рабочих органов, кроме того была доказана достаточная адекватность теоретических моделей реальным объектам. Разработанные модели созданы в среде MatLab, что позволяет реализовать принципиально новые методы экспериментальных исследований, так называемые полунатурные эксперименты.

На шестом этапе разрабатывалась технология имитационного нечетко-геометрического моделирования воздействий и нагрузок в окорочном станке.

На основе нечетко-геометрической модели лесоматериала была создана технология имитационного нечетко-геометрического моделирования воздействий и нагрузок в окорочном станке. Модель лесоматериала интегрирована с геометрической моделью окорочного станка в среде Solid Works, и выполняется геометрическое моделирование процесса окорки. При этом коросниматель перемещается по винтовой линии вокруг бревна, копируя микропрофиль объекта лесоматериала. Полученная траектория обуславливает воздействия со стороны лесоматериала и весь спектр динамических воздействий на рабочий орган станка. Структурная схема технологии приведена на рисунке 18.

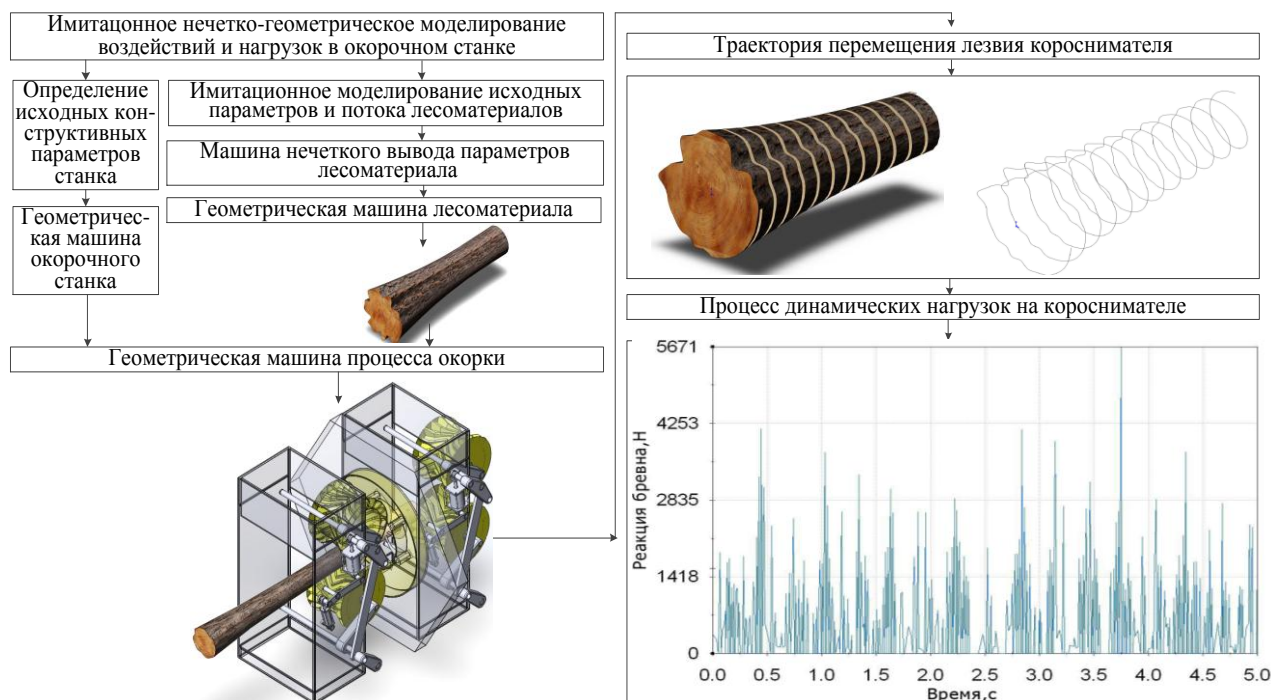


Рисунок 18 – Схема технологии имитационного нечетко-геометрического моделирования воздействий и нагрузок в окорочном станке

Глава 7. Использование результатов исследований в промышленности

По результатам исследований для практического применения разработаны методики, алгоритмы, реализованные в компьютерных программах для проектирования окорочных станков. С применением программных комплексов выполнены проектные расчеты для гаммы станков с автоматическим управлением и получены исходные данные для проектирования станков с гидроприводом рабочих органов. Перечень из 78 предлагаемых параметров включает кинематические параметры рабочих органов, исходные данные для проектирования, параметры элементов пневмогидропривода, гидроцилиндров, пневмоцилиндров, гидрораспределителей, рабочей жидкости, параметры САУ.

Экономический эффект от внедрения результатов исследований проявляется в двух основных направлениях:

- на стадии проектирования за счет сокращения сроков создания новых моделей станков, повышения качества разработки проектов благодаря более обоснованным значениям расчетных нагрузок, возможности проработки множества вариантов решений при оптимизации, сокращения сроков доводки опытных образцов за счет более развитых методов численных экспериментов на основе имитационных моделей;

- на стадии использования станков за счет повышения производительности, надежности вследствие практически исключения динамических нагрузок, технологичности и качества окорки благодаря дистанционному управлению заданным прижимом рабочих органов без остановки станка, снижения энергоемкости.

Реализация результатов исследований позволит достичь экономического эффекта из расчета не менее 780 тыс. руб. на одну модель станка и около 8,6 млн руб. на станок в год.

8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивное развитие окорочного оборудования зарубежного выпуска, внедрение более совершенных типов приводов, систем автоматического управления, информационных технологий требуют повышения эффективности технологий окорки с применением новых методов проектирования РОС на базе современных достижений науки и техники. С этой целью выполнена настоящая диссертационная работа, которая представляет собой обобщение результатов многолетних исследований автора. В работе получены теоретические и прикладные результаты, направленные на решение важной научно - технической проблемы создания новой гаммы более эффективных РОС с автоматически управляемым пневмогидроприводом рабочих органов.

В качестве методологической основы развивается концепция управления пневмогидроприводом САУ следящего типа на основе нечеткого контроллера, стабилизирующего заданный прижим рабочего органа, а также на регуляторах фиксированной ПИД-структуры. Для обоснования воздействий и нагрузок на станок используются методы нечеткого и геометрического моделирования лесоматериалов, конструкции станка и процессов окорки. В соответствии с целью и задачами результаты составили четыре группы:

- **первая** группа результатов относится к проектированию конструкций рабочих органов окорочных станков;
- **вторая** группа результатов относится к разработке систем автоматического управления пневмогидроприводом рабочих органов;
- **третья** группу результатов составляют теоретические основы применения нечеткой логики в системах автоматического управления станков и нечеткого моделирования размерно-качественных характеристик лесоматериалов и процессов окорки;
- **четвертая** группа результатов заключается в методологии экспериментальных исследований, направленных на создание станков новой гаммы с автоматически управляемым пневмогидроприводом рабочих органов, в разработке соответствующих методик, рекомендаций по применению предложенного оборудования, в том числе для обеспечения обмена информацией с аппаратурой, расположенной в роторе, а также выполнения численных экспериментов по исследованию процесса окорки и оценке воздействий и нагрузок в станке на основе имитационного нечетко-геометрического моделирования.

8.1 Основные результаты исследований, выводы и рекомендации

Основные научные и практические результаты следующие.

1. На основании исследований показано, что в результате развития методов окорки, индустрии окорочного оборудования, его номенклатуры и технического уровня операцию окорки следует рассматривать как достаточно обширную область технологий окорки. Для исследуемой научной и практической области расширены ее классификационные основы, выявлены тенденции развития, уточнен терминологический аппарат. Также выявлено, что массовое внедрение в зарубежные окорочные станки гидропривода, средств автоматики обеспечило им значительное повышение технического уровня и наибольшие конкурентные преимуще-

ства. В этой связи подтверждается правильность технической политики, проводимой ЦНИИМЭ с конца 80-х годов, по переводу унифицированной гаммы на гидропривод, и со всей очевидностью возникает необходимость возобновления соответствующих научно-исследовательских работ. Выявленная тенденция отказа производителей в некоторых моделях от традиционных для них компоновок и переход на конструкцию, принятую для унифицированной гаммы «ОК», говорит о перспективности такого типа конструктивного решения. В модельном ряду унифицированной гаммы типоразмер ОК-63 будет наиболее целесообразен как базовый для опытных работ по дальнейшему совершенствованию с целью создания новой гаммы с гидроприводом и автоматическим управлением.

2. Реализован единый комплексный подход к проблеме совершенствования РОС путем использования автоматически управляемого пневмогидропривода рабочих органов, что предусматривает создание методологии теоретических и экспериментальных исследований и проектирования станков. Обоснована концепция применения для теоретических исследований методов визуально-блочного имитационного моделирования, позволяющих одновременно исследовать конструкцию и выполнять проектирование ее параметров. Для экспериментальных исследований предложен комплекс методик натурных экспериментов в производственных условиях и разработаны методы численных экспериментов РОС. Разработана технология оценки воздействий и нагрузок в станке на основе имитационного нечетко-геометрического моделирования процесса окорки.

3. Предложены принципиально новые патентоспособные конструктивные решения кинематической схемы и пневмогидропривода автоматически управляемых рабочих органов станка, позволяющие подобрать оптимальное соотношение быстродействия и силовых параметров гидропривода.

4. Разработано математическое описание механизма подачи с механическим прижимом вальцов, позволяющее исследовать процесс захвата лесоматериалов в статике, кинематике, динамике и рассчитывать параметры механизма.

5. Обоснованы математические модели автоматически управляемого гидропривода механизма режущего инструмента и механизма прижима вальцов, реализованные в имитационных моделях в среде Simulink+Simscape приложения MatLab, позволяющие исследовать процесс стабилизации прижима рабочих органов к лесоматериалу в зависимости от различных конструктивных и технологических параметров окорки. Расчеты и сопоставление с известными экспериментальными данными показывают их достаточную адекватность физическим процессам работы.

6. Предложены методика оптимального проектирования механизма подачи с учетом процесса захвата бревна и методика оптимального проектирования механизма прижима вальцов на основе имитационного моделирования по критерию точности центрирования бревна.

7. Для автоматического управления разработаны САУ пневмогидроприводом рабочих органов на дискретном ПИД-регуляторе представленные передаточными функциями вида:

- для САУ короснимателем:
$$W(z) = K_{p-p} \cdot \frac{T_{d-p} - T_{d-p} \cdot z^{-1}}{A_{0-p} - A_{1-p} \cdot z^{-1}},$$

со следующими оптимальными значениями коэффициентов:

- пропорциональности $K_{p-p} = 3$;
- дифференциальной составляющей $T_{d-p} = 0,01$;
- дискретного фильтра $A_{0-p} = 0,0015$;
- дискретного фильтра $A_{1-p} = -0,0015$;
- периода дискретизации $T_{0-p} = 0,002$;

- для САУ прижимом вальцов:
$$W(p) = \frac{14,21p + 345}{p^2 + 23,25p + 479,7}.$$

8. Установлено, что предлагаемые пневмогидроприводы механизма режущего инструмента и механизма подачи с автоматическим управлением обеспечивают стабилизацию прижима рабочих органов станка во всем диапазоне динамических нагрузок процесса. Численные эксперименты показывают, что при работе станка с механизмом режущего инструмента, оснащенного САУ, обеспечивается практически исключение динамических нагрузок и повышение скорости подачи в сравнении с реальными данными в 3-5 раз. Величина неточности регулирования прижима короснимателя составляет не более 12 %, прижима вальцов – не более 6,5 %.

9. Разработанные нечеткие контроллеры автоматического управления пневмогидроприводом МРИ и механизма прижима вальцов обеспечивают более широкие возможности регулирования приводом механизмов. Так, величина перерегулирования в наиболее нагруженном случае на переходных режимах при ПИД-регуляторе САУ короснимателем достигает 12 %, механизмом прижима вальцов – до 6,5 %, а на нечетком контроллере – не более соответственно 22 и 8 %. При этом время переходного процесса увеличивается, соответственно на 24 и 30 %. На базе предлагаемых контроллеров разработаны двухконтурные САУ нечеткого (гибридного) автоматического управления пневмогидроприводом механизма режущего инструмента и механизма прижима вальцов.

10. Разработаны имитационные модели лесоматериала в окорочном станке, модели микропрофиля поверхности ствола в продольном направлении и по окружности, позволяющие моделировать в среде Simulink воздействия на рабочие органы в процессе окорки при численных экспериментах и проектировании станков.

11. Впервые разработаны модель нечеткого вывода для определения размерно-качественных характеристик лесоматериала и его геометрическая модель в трехмерном пространстве в среде Solid Works, что позволяет обобщить ранее полученные теоретические и экспериментальные данные по проблеме моделирования предмета труда лесопромышленных технологий.

12. Для практического использования результатов исследований по предложенным методикам разработан программный комплекс проектирования РОС. Программный комплекс в среде Simulink приложения MatLab позволяет реализовать технологию полунатурного эксперимента при доводке опытных образцов роторных окорочных станков. Предложены рассчитанные на программном комплексе рекомендуемые параметры рабочих органов с автоматически управляемым

пневмогидроприводом и рекомендуемые исходные данные для проектирования.

13. Одним из обобщающих результатов исследований явилось, по мнению автора, создание методологии экспериментальных исследований РОС, включающей методики и оборудование для натурных экспериментов, методики численных экспериментов, технологию оценки воздействий и нагрузок в станке на основе имитационного нечетко-геометрического моделирования процессов окорки. Построены алгоритмы, позволяющие внедрять предложенные методы в автоматизированные системы проектирования станков для расчетов параметров МРИ и механизма подачи, а также выполнять моделирование объекта труда для исследований и проектирования любых технологий лесозаготовительной и деревообрабатывающей отраслей.

14. Предложенный экспериментально апробированный метод телеметрии и разработанная патентоспособная аппаратура измерительного комплекса позволяют реализовать автоматическое управление оборудованием, расположенным в роторе, проводить экспериментальные исследования в РОС и исследования других динамических процессов с дистанционной передачей данных.

15. Методики натурных экспериментальных исследований, принципиально новое, защищенное патентами оборудование для экспериментов на станках позволяют наиболее точно в сравнении с другими методами определять нагрузки в РОС.

16. Предложенная методика численного машинного эксперимента, имитационные модели объекта труда в окорочном станке, аналитические выражения, описывающие микропрофиль поверхности лесоматериала, позволяют достаточно точно оценивать работу станка с автоматически управляемым пневмогидроприводом рабочих органов и могут быть рекомендованы для исследований и проектирования РОС.

17. Результаты исследований доведены до практического применения. Внедрение осуществлено на отраслевом уровне, в научно-исследовательских и проектных организациях в виде обоснованных конструктивных параметров, контроллеров САУ, готовых для программирования («прошивки» ПЗУ) микропроцессоров, алгоритмов, зарегистрированных программ для ЭВМ для использования в практике проектирования РОС и аналогичных механизмов лесозаготовительного оборудования, в учебном процессе УГЛТУ в виде пособий.

18. Выполнена оценка экономической эффективности от использования результатов исследований на стадии проектирования станков и в процессе их эксплуатации в лесоперерабатывающих и деревообрабатывающих производствах, что составляет соответственно не менее 980 тыс. руб. на одну модель станка и около 8,6 млн руб. на станок в год.

Таким образом, в диссертационной работе, как полагает автор, сформулирована, обоснована и решена актуальная проблема, имеющая важное народно-хозяйственное значение – повышение эффективности технологий окорки на основе созданной методологии исследований и проектирования роторных окорочных станков новой гаммы с автоматически управляемым пневмогидроприводом рабочих органов на нечеткой логике, внедрение которых дает значительный вклад в развитие лесного комплекса страны.

Общее количество опубликованных по материалам диссертации работ составляет 93, в том числе 30 в изданиях, рекомендованных ВАК, а основные из них следующие:

I. Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Побединский В.В., Берстенов А.В. Тенденции в развитии роторных окорочных станков // Справочник. Инженерн. жур. – №5(182). – М.: ООО «Изд. дом «СПЕКТР», 2012. – С. 46-51.
2. Побединский В.В., Берстенов А.В. Конструкции современных окорочных инструментов // Вестник КрасГАУ. – №5(68). – Красноярск: КрасГАУ, 2012. – С. 293-297.
3. Побединский В.В., Берстенов А.В. Пневмо- и гидропривод в роторных окорочных станках // Вестник КрасГАУ. Техника. – №6(69). – Красноярск: КрасГАУ, 2012. – С. 138-143.
4. Побединский В.В., Берстенов А.В. Коросниматель с пневмогидроприводом // Вестник КрасГАУ. Техника. – №7(70). – Красноярск: КрасГАУ, 2012. – С. 126-130.
5. Побединский В.В., Берстенов А.В. Моделирование работы пневмогидропривода короснимателя роторного окорочного станка // Вестник КрасГАУ. Техника. – №8(71). – Красноярск: КрасГАУ, 2012. – С.145 -150.
6. Побединский В.В., Берстенов А.В. Математическая модель пневмогидропривода короснимателя роторного окорочного станка / Вестник КрасГАУ. Техника. – №9(72). – Красноярск: КрасГАУ, 2012. – С.182-188.
7. Побединский В.В., Берстенов А.В. Разработка системы автоматического управления короснимателя роторного окорочного станка в среде SIMULINK // Вестник КрасГАУ. Техника. – №10(73). – Красноярск: КрасГАУ, 2012. – С.171-177.
8. Побединский В.В., Берстенов А.В. Информационные технологии в исследованиях процесса окорки лесоматериалов// Справочник. Инженерн. жур. – №11(188). – М.: ООО «Изд. дом «Спектр», 2012. – С.52-56.
9. Побединский В.В., Черемных Н.Н., Пашков В.К. Синтез математической модели пневмо-гидропривода короснимателя роторного окорочного станка в среде SIMULINK // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6: URL: <http://www.science-education.ru/106-7621> (дата обращения: 05.12.2012).
10. Побединский В.В., Герц Э.Ф., Рябкова Н.В. Нечеткий вывод возможных повреждений деревьев при повале / Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/108-8932> (дата обращения: 23.04.2013).
11. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование работы механизма подачи роторных окорочных станков // Вестник Алтайского ГАУ. – № 9. – Барнаул: АГАУ, 2013. – С.102-106.
12. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Нечеткая модель управления пневмогидроприводом короснимателя роторного окорочного станка//Вестник КрасГАУ. – №8(83). – Красноярск: КрасГАУ, 2013. – С.19-23.
13. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Экспериментальные исследования роторных окорочных станков // Вестник КрасГАУ. – №10(85). –

Красноярск: КрасГАУ, 2013. – С.201-206.

14. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование кинематики механизма подачи окорочных станков // Вестник Саратов. ГАУ им. Вавилова. – №11. – Саратов: СГАУ, 2013. – С.59-63.

15. Мехренцев А.В., Побединский В.В., Побединский Е.В. Телеметрия в роторных окорочных станках // Вестник Саратов. ГАУ им. Вавилова. – №12. – Саратов, 2013 С.46-48.

16. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Разработка конструкции прижима вальцов окорочного станка // Вестник Саратов. ГАУ им. Вавилова. – № 12. – Саратов: СГАУ, 2013. – С.53-56.

17. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование динамики механизма подачи роторных окорочных станков. // Вестник БГАУ. – № 4(28). – Уфа: БГАУ, 2013. – С.98-102.

18. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Оптимальное проектирование механизма подачи роторных окорочных станков // Инновационная деятельность. – № 4(27). – Саратов: СГТУ, 2013. – С.80-84.

19. Побединский В.В., Попов А.И., Асин К.П. Нечеткое управление прижимом вальцов окорочного станка // Вестник Саратовского ГАУ им. Вавилова. – № 2. – Саратов: СГАУ, 2014. – С.55-60.

20. Побединский В.В., Асин К.П., Побединский Е.В. Нечеткое моделирование динамических нагрузок на инструмент роторного окорочного станка // Аграрн. науч. жур. – № 12. – 2014. – С.58-61.

21. Побединский В.В., Берстенов А.В., Попов А.И. Синтез САУ окорочного станка методом частотной идентификации объекта управления // Аграрн. науч. жур. – № 1. – 2015. – С.45-48.

22. Побединский В.В., Асин К.П., Побединский Е.В. Имитационное нечетко-геометрическое моделирование объекта труда окорочных технологий // Аграрн. науч. жур. – № 3. – 2015. – С.56-61.

II. Диссертация

23. Побединский В.В. Обоснование параметров механизма подачи роторных окорочных станков с гидроприводом: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Побединский Владимир Викторович. – Химки: ЦНИИМЭ, 1992. -196 с.

III. Авторские свидетельства, патенты, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

24. А.с. 1652055 СССР, В27L1/00. Коросниматель роторного окорочного станка / А.В. Мехренцев, В.В. Побединский, В.А. Мерный; заявл. 25.01.89; опубл. 30.05.91, Бюл. № 20.

25. Пат. 123364 Российская Федерация, МПК В27L 1/00 (2006/01). Коросниматель роторного окорочного станка / В.В. Побединский, А.В. Берстенов, Н.В. Рябкова; заявл. 07.08.12; опубл. 27.12.12, Бюл. № 36.

26. Пат. 129232 Российская Федерация, МПК G01L 1/16 (2006.01). Устройство для измерения нагрузок в роторных окорочных станках / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, Д.А. Василевский, А.И. Попов, Н.В. Рябкова; заявл. 10.01.13, опубл. 20.06.13, Бюл. № 17.

27. Пат. 132377 Российская Федерация, МПК В27L 1/00 (2006/01). Устрой-

ство прижима вальцов роторного окорочного станка / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, Д.А. Василевский, А.И. Попов, Н.В. Рябкова, К.П. Асин; заявл. 09.04.13, опубл. 20.09.13, Бюл. № 26.

28. Пат. 138036 Российская Федерация, МПК G01D 5/40 (2006.01). Устройство для телеметрии в роторных окорочных станках / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, А.И. Попов, М.Г. Рябков, К.П. Асин; заявл. 11.10.13, опубл. 27.02.14. Бюл. № 6.

29. Пат. 139143 Российская Федерация, МПК B27L 1/00 (2006/01). Окорочная головка роторного окорочного станка / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, А.И. Попов, Н.В. Рябкова, К.П. Асин; заявл. 20.09.13, опубл. 10.04.14, Бюл. № 10.

30. Пат. 140124 Российская Федерация, МПК B27L 1/00 (2006/01). Роторный окорочный станок / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, А.И. Попов, Е.В. Побединский; заявл. 05.11.13, опубл. 27.04.14, Бюл. № 12.

31. Пат. 143496 Российская Федерация, МПК B27L 1/00 (2006/01). Устройство прижима вальцов роторного окорочного станка / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, А.И. Попов, Е.В. Побединский; заявл. 21.02.14, опубл. 27.07.14, Бюл. № 21.

32. Пат. 148344 Российская Федерация, МПК B27L 1/00 (2006/01). Коросниматель петлевой / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, А.И. Попов, И.Н. Афанасьева, Е.В. Побединский; заявл. 14.07.14, опубл. 10.12.14, Бюл. № 34.

33. Пат. 149189 Российская Федерация, МПК B27L 1/00 (2006/01). Электрическая схема роторного окорочного станка для экспериментальных исследований / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, А.И. Попов, Е.В. Побединский; заявл. 04.07.14, опубл. 27.12.14, Бюл. № 36.

34. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2013660274. Программа нечеткого вывода функции возможных повреждений деревьев при повале / В.В. Побединский, А.И. Попов, М.Г. Рябков; заявл. 09.09.13; дата регистрации 30.10.13.

35. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2013660360. Программа нечеткого вывода функции управления короснимателем окорочного станка / В.В. Побединский, А.И. Попов, М.Г. Рябков; заявл. 09.09.13; дата регистрации 31.10.13.

36. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2013660275. Программа нечеткого вывода функции управления вальцами окорочного станка / В.В. Побединский, А.И. Попов, К.П. Асин; заявл. 09.09.13; дата регистрации 30.10.13.

37. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2014610071. Программа геометрического моделирования лесоматериалов / В.В. Побединский, К.П. Асин, А.И. Попов; заявл. 05.11.13; дата регистрации 09.01.14.

38. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2014610062. Программа геометрического моделирования подачи лесоматериалов при окорке / В.В. Побединский, К.П. Асин, А.И. Попов, И.В. Кузьминых; заявл. 05.11.13; дата регистрации 09.01.14 г.

39. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2014610063. Программа проектирования автоматизированного пневмогидропривода короснимателя / В.В. Побединский, А.В. Берстнев, К.П. Асин, А.И. Попов; заявл. 05.11.13; дата регистрации 09.01.14 г.

40. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2014661844. Программа нечеткого моделирования динамических нагрузок на короснимателе/В.В. Побединский,

К.П. Асин, Е.В. Побединский; заявл. 23.09.14; дата регистрации 14.11.14 г.

41. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2014662537. Программа проектирования гидропривода механизма прижима вальцов окорочного станка / В.В. Побединский, А.В. Берстенов; заявл. 20.10.14; дата регистрации 02.12.14 г.

42. Свид. о гос. регистр. прогр. для ЭВМ № 2014662536. Программа проектирования САУ пневмогидропривода механизма прижима вальцов окорочного станка / В.В. Побединский, А. В. Берстенов; заявл. 20.10.14; дата регистрации 02.12.14 г.

IV. Доклады к международным научным конференциям,

статьи в сборниках научных трудов, депонированные рукописи

43. Побединский В.В. Статический и кинематический анализ механизма подачи роторных окорочных станков - Химки: ВНИПИЭИлеспром, 1990.-20 с. Деп. во ВНИПИЭИлеспром, 20.05.91, № 2754-лб 91.

44. Побединский В.В. Экспериментальные исследования роторного окорочного станка// Лесоэксплуатация и лесосплав: информ. сб. – Вып. № 2. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1991. – С.4.

45. Побединский В.В. Обоснование параметров роторных окорочных станков // Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса: матер. к обл. науч.-техн. конф. – Свердловск: УЛТИ, 1991. – С. 113-114.

46. Семенищев С.Г., Торговников Г.И., Побединский В.В. Прибор для экспериментальных исследований нагрузок элементов конструкции роторного окорочного станка // Лесоэксплуатация и лесосплав: информ. сб. Вып. № 1.- М.: ВНИПИЭИлеспром, 1991.- С.8.

47. Побединский В.В., Берстенов А.В., Шуняев С.Н. Моделирование рабочих процессов роторного окорочного станка в среде MatLab // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: сб. тр. междунар. Евразийск. симпоз. / под науч. ред. И.Т. Глебова. – Екатеринбург: УГЛТУ, ООО РИЦ «Компас», 2006. – С. 182-187.

48. Берстенов А.В., Побединский В.В. Математическая модель гидропривода рабочего органа роторного окорочного станка // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: сб. тр. междунар. Евразийск. симпоз. / под науч. ред. И.Т. Глебова. – Екатеринбург: УГЛТУ, ООО РИЦ «Компас», 2006. – С. 177-182.

49. Побединский В.В., Берстенов А.В., Шуняев С.Н. Моделирование процесса окорки лесоматериалов на основе теории нечетких множеств. // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: сб. тр. междунар. Евразийск. симпоз. / под науч. ред. И.Т. Глебова. – Екатеринбург: УГЛТУ, ООО РИЦ «Компас», 2006. – С.90-97.

50. Побединский В.В., Берстенов А.В. Синтез математической модели гидропривода механизма резания роторного окорочного станка в системе MatLab. // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: сб. тр. междунар. Евразийск. симпоз. / под науч. ред. И.Т. Глебова. – Екатеринбург: УГЛТУ, ООО РИЦ «Компас», 2006. – С.170-176.

51. Побединский В.В., Василевский Д.А. Совершенствование окорочных

инструментов // Леса России и хоз-во в них. – № 1(44). – 2013. – С. 76-79.

52. Побединский В.В., Василевский Д.А. Совершенствование окорочных станков // Леса России и хоз-во в них. – № 1(44). – 2013. – С. 79-82.

53. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование процесса окорки короснимателем с гидроприводом // Леса России и хоз-во в них. – № 3(45). – 2013. – С.62-65.

54. Побединский В.В., Берстенов А.В., Попов А.И. Вывод передаточной функции гидропривода окорочного станка // Научное творчество молодежи лесному комплексу России: матер. междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – С.181-185.

VI. Статьи в сборниках материалов всероссийских и региональных научных конференций

55. Побединский В.В., Обвинцев В.В., Чамеев В.В. Имитационная модель процесса окорки лесоматериалов на роторных окорочных станках // Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса: матер. обл. науч.-техн. конф. – Свердловск: УЛТИ, 1989. – С. 78.

56. Побединский В.В. Методика исследований роторных окорочных станков в производственных условиях // Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса: матер. обл. науч.-техн. конф. – Свердловск: УЛТИ, 1989. – С.77.

57. Побединский В.В. и др. Повышение износостойкости окорочного инструмента методом напыления металлопокрытия // Вклад ученых и специалистов в развитие химико-лесного комплекса: матер. обл. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УЛТИ, 1993. – С. 95.

58. Побединский В.В., Санников С.П., Берстенов А.В. Система автоматического управления рабочим органом роторного окорочного станка / Материалы II Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов: матер. науч.-техн. конф. – Ч.2.–Екатеринбург: УГЛТУ, 2006.- С.115-118.

59. Побединский В.В., Василевский Д.А., Попов А.И. Новые типы приводов в окорочных станках / Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. IX всерос. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – С.228-231.

60. Побединский В.В., Асин К.П. Геометрическое моделирование лесоматериалов в учебном процессе // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. IX всерос. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – С.10-12.

61. Побединский В.В., Асин К.П. Геометрическое моделирование лесоматериалов / Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. IX Всерос. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – С.12-14.

62. Мехренцев А.В., Колесников С.И., Побединский В.В., Березин В.А. Окорка круглых лесоматериалов на лесозаготовительных предприятиях. Технология и оборудование: метод. указ. по курсовому и дипломному проектированию для студ. спец. 2601 и 1704. – Свердловск: УЛТИ, 1989.-31 с.

Подписано к печати 28.04.2015 г. Заказ № 000. Объем 2,5 п.л. Тираж 120 экз.

620 100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37
Уральский государственный лесотехнический университет
редакционно-издательский отдел УГЛТУ